

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CIELAT**

***VARIACIONES DEL CONTENIDO DE NITROGENO EN COMPONENTES
HIDRICOS DE AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS, CON DIFERENTES
MANEJOS.***

**Trabajo Especial de Grado
Presentado Ante la Ilustre
Universidad de Los Andes
Por la Br. Yelitza Acives
como Requisito Parcial
para Optar al Título de
Licenciada en Biología.**

Mérida, Marzo 1995.

INFORME DEL JURADO NOMBRADO POR EL CONSEJO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES PARA CONSIDERAR EL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO DE LA BACHILLER YELITZA ACIVES.

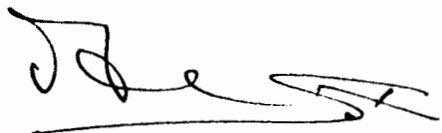
En Mérida, a los diez días del mes de marzo de mil novecientos noventa y cinco, a las 4:00 pm. se reunieron los profesores: Maximina Monasterio, Carlos Estrada y Michele Ataroff, todos de la Facultad de Ciencias, quienes forman el Jurado nombrado y aprobado por el Consejo de la Facultad de Ciencias, para considerar el Trabajo Especial de Grado que sobre el tema: **VARIACIONES DEL CONTENIDO DE NITROGENO EN COMPONENTES HIDRICOS DE AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS, CON DIFERENTES MANEJOS**, presentó la Bachiller YELITZA ACIVES, titular de la Cédula de Identidad 8488962, para optar al título de:

LICENCIADO EN BIOLOGIA

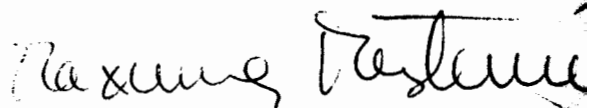
en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes. Acto seguido se procedió a oír la exposición que sobre el tema arriba mencionado realizó la Bachiller YELITZA ACIVES.

Después del correspondiente interrogatorio, el Jurado procedió a deliberar sobre la calificación del trabajo sometido a consideración.

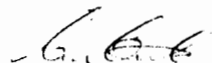
Finalmente el Jurado lo declaró **APROBADO** con la calificación de **DIECISIETE (17) PUNTOS**.



Prof. Michele Ataroff
Tutora



Prof. Maximina Monasterio



Prof. Carlos Estrada

**ESTE TRABAJO HA SIDO REALIZADO EN EL
CENTRO DE INVESTIGACIONES ECOLOGICAS DE LOS ANDES TROPICALES
(C.I.E.L.A.T.)
FACULTAD DE CIENCIAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
BAJO LA TUTORIA DE LA DRA. MICHELE ATAROFF (TUTORA)**

RESUMEN

El agua de lluvia al pasar a través de los distintos estratos de vegetación en los cafetales (árboles de sombra, cafetos, etc.) cambia su composición química por efecto de lavado foliar; de la misma forma, el agua de escorrentía superficial (al atravesar la hojarasca y los primeros centímetros del suelo) y el agua de infiltración (al recorrer los primeros horizontes del suelo) cambian su composición química enriqueciéndose en algunos elementos y perdiendo otros. El objetivo de este trabajo fue analizar la dinámica del nitrógeno disuelto en aguas de distintos compartimientos del balance hídrico en agroecosistemas cafetaleros bajo diferentes formas de manejo del café (cafetales de sombra parcial, de sol en plena producción y de sol en su primer año de implantación) y las consecuencias ecológicas de las variaciones registradas.

Para este estudio se utilizaron muestras de aguas obtenidas mediante una infraestructura instalada en una finca en la localidad de Canaguá, en Los Pueblos del Sur del Estado Mérida, a 1700 m de altitud. Durante el primer año de estudio la finca presentaba tres cafetales contiguos uno de sombra total, otro de sombra parcial y otro de sol que se encontraban a pocos metros de distancia uno del otro, sobre la misma pendiente (31°) y sobre el mismo sustrato. Al iniciarse el segundo año de estudio el cafetal de sombra parcial es convertido en un nuevo cafetal de sol. En cada cafetal se estudiaron las entradas de agua, algunas salidas y flujos.

Para la determinación de la cantidad de N total presente en las muestras de agua se utilizó el método de Micro-Kjeldahl.

Los resultados mostraron grandes diferencias en los distintos cafetales y en los dos años de estudio. Las entradas por precipitación total fueron de 4.86 y 11.11 Kg N ha^{-1} $año^{-1}$ durante el primer año (Junio 89-Mayo 90) y segundo año (Mayo 90-Junio 91) de estudio, respectivamente. Las entradas por precipitación efectiva total durante el primer año de estudio fueron de 3.16 y 3.77 Kg N ha^{-1} $año^{-1}$ en los cafetales de sombra parcial y de sol en plena producción y las salidas por escorrentía superficial fueron de 4.39 y 5.31 Kg N ha^{-1} $año^{-1}$ en los cafetales de sombra parcial y sol en plena producción, respectivamente .

En el segundo año de estudio (Junio 90-Mayo 91) las salidas por escorrentía superficial fueron de 2.85 y 2.31 Kg N ha^{-1} $año^{-1}$ en los cafetales de sol en su primer año de implantación y de sol en plena producción, respectivamente; mientras que por drenaje vertical las salidas fueron de 16.58 Kg N ha^{-1} $año^{-1}$ en el cafetal de sol en su primer año y de 1.13 Kg N ha^{-1} $año^{-1}$ en el cafetal de sol en plena producción.

1. INTRODUCCION

El café y el cacao son dos de los cultivos agrícolas perennes más importantes en América Tropical. Las plantaciones de esos cultivos se realizan en todos los países latinoamericanos tropicales, siendo Brasil el mayor exportador de café en el mundo. Actualmente todos los países del mundo son consumidores de café, con excepción de los pueblos del Lejano Oriente, en particular chinos y japoneses (Roskoski, 1982; Adriani, 1984).

El café se originó en Abisinia (la actual Etiopía), de donde fué introducido al Yemen frente a las costas de Etiopía en el siglo XV (Haarer,1984; Adriani, 1984) . La llegada del café a América es imprecisa. Según Adriani (1984) los responsables de su introducción fueron los franceses quienes lo trajeron a Cayena, Martinica y otras posesiones insulares en 1715; mientras que Haarer (1984) señala que los holandeses lo trajeron a Surinam en 1719. En Venezuela, tal como señala Henao (1982) la llegada del café parece deberse al misionero castellano José Gumilla entre 1730 y 1732, quien sembró las semillas en terrenos de su misión cercana al Orinoco; aunque según Haarer (1984) las primeras plantaciones se hicieron en el valle de Caracas en los alrededores del pueblo de Chacao, por el Pbro. José Antonio Mohedano. En Los Andes, la principal zona cafetalera del país, el café parece haber llegado primero a Mérida antes de 1777; de allí se enviaron semillas al Táchira en 1794. En Trujillo el café fue traído de Chacao en 1801 (Adriani, 1984).

A finales del siglo XVIII el cultivo de café en Venezuela inicia su desarrollo por el establecimiento de plantaciones comerciales y se convierte en un producto de gran importancia económica para el país (Adriani, 1984; Haarer, 1984). En la región de Los Andes ha marcado pautas en la economía y sociedad regional, así como en las consecuencias ambientales de su manejo.

El café en Venezuela es cultivado comercialmente en altitudes entre 800 y 1700 m. En su ambiente original (Etiopía) se encuentra entre 1300 y 1800 m, y entre 6° y 9° de latitud Norte, con una estación seca de cuatro a cinco meses de duración y un total de precipitaciones de 1500 a 1800 mm. La temperatura media está entre 25 y 30 °C con mínimas de 4 a 5 °C y máximas entre 30 y 31 °C (Coste, 1969). Los cafetos requieren una buena cantidad de lluvias (1200 a 2000 mm anuales) distribuidas durante todo el año. Los largos períodos de sequía determinan una paralización de las funciones de la planta, que se manifiestan por la caída de las hojas, tanto de los árboles de café como de los que proporcionan sombra a éstos, deficiencia que se traduce en disminución o grandes fluctuaciones en la producción. Un efecto contrario, pero de consecuencias semejantes en cuanto a producción, se observa en plantaciones de cafetos situados en zonas altas y muy montañosas, en donde por efecto de las continuas lluvias y nubosidad permanente, los cafetos aparentan un marcado vigor ofreciendo un gran número de ramas y hojas, pero muy escasa producción, debido a la menor floración y por ende fructificación, además de presentar mucha susceptibilidad al ataque de enfermedades causadas por hongos. Es allí, sin embargo, donde se logran producciones de grano de tipo fino (García & Henao, s.f.). Estos autores también señalan que es necesaria y oportuna la presencia de las lluvias antes de la floración. Generalmente la primera floración ocurre a los pocos días después de las primeras lluvias. Entre una y otra

floración no es conveniente la presencia de lluvias fuertes y excesivas porque ocasionan la caída de las flores y frutos recién fecundados; pero una prolongada sequía, inmediatamente después de la primera floración causa el desecamiento de las flores y la caída de los pequeños frutos. Los cortos períodos de sequía permiten al cafeto, el crecimiento de las raíces y la posterior maduración de los frutos (Maestri & Santos Barros, 1977)

El café se cultiva en diferentes condiciones, algunas prácticamente silvestres, con exceso de sombra, pasando por varios sistemas agroforestales en combinaciones diferentes de frutales y árboles de sombra, hasta plantaciones con sofisticados sistemas de poda y manejo, ya sea que tengan sombra o carezcan de ella (Navidad, 1987).

El cultivo del café ha provocado grandes controversias; por un lado se sostiene que la mejor forma de cultivo es aquella que intenta reproducir controladamente las condiciones ambientales originales de la especie, es decir, los cafetos como plantas de sotobosque con árboles sombreantes, y por otro lado, se sostiene que las nuevas variedades resistentes a la insolación continua y que son mucho más productivas, abren una nueva era en la economía cafetalera que debe reemplazar a la anterior (Coste 1969 ; Haarer 1984).

En Los Pueblos del Sur de Mérida, específicamente en Canaguá, el café se está cultivando de las dos formas. La forma de cultivo "tradicional" se realiza con la variedad *Coffea arabica var. arabica* que crece necesariamente bajo sombra como un

elemento del sotobosque, por lo cual los cafetales contienen además de los cafetos una serie de árboles que forman un dosel abierto entre los cuales pueden encontrarse frutales. Este tipo de cafetal conserva características fisonómicas y florísticas de la vegetación natural, una gruesa capa de hojarasca que mantiene y acrecienta la materia orgánica del suelo, prolonga la vida del cafetal, evita la desecación del suelo permitiendo que las raicillas sean más efectivas en la nutrición mineral, alta humedad relativa y temperaturas más estables. Además este tipo de cafetal no requiere insumos y no tiene exigencias respecto a la pendiente del terreno ni al tratamiento de la tierra (Coste, 1969; Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982; Ataroff, 1990).

Actualmente, en Canaguá, Pueblos del Sur del Estado Mérida, se está realizando el cambio de la variedad *Coffea arabica var. arabica*, por otras más productivas *Coffea arabica var. bourbon* y *var. caturra*. Estas variedades han sido seleccionadas para crecer sin sombra por lo que se le conoce como café de sol, dejando suelo desnudo entre los cafetos, poca hojarasca y requiere mayor suministros de fertilizantes y en algunos casos, riego. En esta forma de cultivo, el período productivo de los cafetos es menor, debido, entre otros, a la mayor actividad fotosintética, a la mayor absorción de nutrientes, y a un incremento de la temperatura del suelo que permite la evaporación en los primeros centímetros, degradando y erosionando el suelo. En este tipo de cafetal la dinámica de los nutrientes debe verse afectada, particularmente la dinámica del nitrógeno (Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982; García, 1988; Ataroff, 1990).

Se ha observado que las exigencias del cultivo por el nitrógeno están en relación directa a la disminución de la sombra y es por esto que cultivos que se desarrollen en

espacios abiertos tendrán demandas mayores que los que se desarrollan bajo árboles de sombra. Cuando el cafeto crece a plena exposición solar, usa las reservas rápidamente y puede presentar deficiencias específicas si no encuentra los nutrientes requeridos (Navidad, 1987).

La especie *Coffea arabica* es particularmente exigente en nutrientes cuando se lo cultiva al sol, por este motivo requiere de un tratamiento intensivo de fertilización (Carvajal, 1984; cita de Navidad, 1987).

El nitrógeno desempeña un papel primordial en el metabolismo del crecimiento del cafeto y más tarde en la formación de las ramas jóvenes y de las hojas, y en la actividad fotosintética de éstas últimas. La nutrición hidrocarbonada y por tanto la fructificación, estará tanto más asegurada cuanto más satisfactoria sea esta nutrición. En períodos de sequía, esta nutrición puede ser deficiente, lo que se traduce en una coloración amarillenta del follaje y la aparición de casos de "die-back" (deseccación de la extremidad de las ramas); el mismo fenómeno puede observarse cuando el cafeto está sobrecargado de frutos. El nivel de nitrógeno de las hojas se sitúa habitualmente en la planta adulta alrededor de un 2.25 a un 3.0%, siendo el nivel crítico de 1.8 a 2.0% (Coste, 1969).

El nitrógeno es el nutriente que más frecuentemente limita las cosechas y por ende la producción de alimentos. La disponibilidad del nitrógeno en el suelo está relacionada por las tasas de descomposición de la materia orgánica del suelo, por la fijación biológica del nitrógeno molecular y por la adición de fertilizantes. Es esencial

para todos los organismos y está presente como un componente estructural de aminoácidos (proteínas y enzimas), nucleótidos, porfirinas, alcaloides y algunos lípidos. Los residuos de esas y otras formas, junto con material sintético constituyen la materia orgánica del suelo (Allen *et al*, 1974)

El nitrógeno inorgánico en el suelo tiene tres fuentes principales: la materia orgánica del suelo, el N₂ atmosférico y la fertilización. La mayor parte del nitrógeno se encuentra en los suelos en forma orgánica y la forma inorgánica por lo general se presenta en cantidades relativamente pequeñas, en forma de compuestos de Amonio (NH₄⁺) y Nitratos (NO₃⁻) que son las formas asimilables por las plantas y por los microorganismos. Durante la descomposición de la materia orgánica en muchos suelos agrícolas, el exceso de NH₄⁺ no es utilizado por los microorganismos, siendo oxidado por las bacterias autotróficas hasta Nitrito (NO₂⁻) y luego a NO₃⁻ (Allen, *et al*, 1974; Franco y Mumms, 1982). Según Campbell (1987) el NH₄⁺ es retenido por coloides arcillosas y está en mayor cantidad en suelos ácidos, mientras que el NO₃⁻ y el NO₂⁻ pueden lixiviarse del suelo, ya que no están fuertemente adsorbidos o fijos físicamente a las partículas del suelo y están en mayor cantidad en los suelos básicos. La disponibilidad y la cantidad relativa de iones varía con la estación y el clima. El nitrógeno total en el suelo varía con el contenido de materia orgánica en el suelo. El nitrógeno orgánico total es el más frecuentemente estimado de todos los nutrientes en el suelo y en el material vegetal. El nitrógeno total que se mide en las aguas es nitrógeno inorgánico en sus distintas formas: NO₂⁻, NO₃⁻ y NH₄⁺, así como el nitrógeno en forma orgánica proveniente de las partículas de polvo atmosférico arrastrado por las precipitaciones, y en caso de aguas de drenaje provenientes del arrastre de ácidos

fúlvicos y húmicos, como de partículas de materia orgánica en suspensión.

Según Sarmiento (1984) el ciclo del nitrógeno es relativamente complejo, tanto por la diversidad de los procesos de transferencia entre y dentro de los ecosistemas como por el papel crucial que la biosfera desempeña en el ciclo de este elemento. A nivel del ecosistema, donde ocurre el reciclado interno entre la vegetación, la fauna y los microorganismos y el suelo se producen los procesos cuantitativa y cualitativamente más trascendentes desde el punto de vista ecológico. La entrada del nitrógeno a los ecosistemas terrestres puede producirse desde la atmósfera por fijación biológica simbiótica o libre, o a través de las precipitaciones y de la deposición seca, es decir, la incorporación a través de la atmósfera de gases, aerosoles o partículas sólidas, pueden implicar aportes substanciales en forma de amoníaco o compuestos amoniacaes. Estos provienen en parte de los océanos, y en parte de la descomposición de detritos vegetales y excrementos animales ricos en N amoniacal .

Una de las entradas importantes de nutrientes en los agroecosistemas es a través de las precipitaciones, así como una de las principales salidas es a través de las aguas de drenaje (escorrentía, drenaje profundo, etc.). Es por ello que el conocimiento del contenido químico de las aguas que circulan dentro de los agroecosistemas es de gran importancia en los estudios ecológicos, debido al rol que desempeña el agua en el ciclado de nutrientes.

Aranguren *et al* (1982), midieron las siguientes concentraciones de nitrógeno en el agua de una plantación de café bajo sombra, localizada en la hacienda "La Cumaca", a 40 km del este de Caracas a una altitud de 1380 m. Sus resultados se resumen en la Tabla I.

Tabla I: Concentración de Nitrógeno (amonio y nitratos) en una plantación de café bajo sombra durante Octubre y Noviembre. Hacienda "La Cumaca" (1380 m de altitud).

Muestra de agua	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
Precipitación Total	2.23	0.06
Precipitación Efectiva	1.23	0.06
Escorrentía	0.77	0.42

Likens *et al* (1977), también publicaron valores para el nitrógeno disuelto en aguas en la cuenca Hubbard Brook Experimental Forest (U.S.A) (Tabla II):

Tabla II: Concentración media anual de Nitrógeno (amonio y nitratos) en la precipitación total y la precipitación efectiva de árboles de Arce, Abedul Amarillo y Haya Americano, y escorrentía para cuencas no disturbadas de Hubbard Brook Experimental Forest.

Muestra de agua	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
Precipitación Total	0.22	1.47
Precipitación Efectiva	1.21	0.67
Escorrentía	0.04	2.01

Ungemach (1967, 1970; cita de Likens *et al*, 1977) midió las entradas de nitrógeno por precipitación para un ambiente tropical con bosque siempreverde (Río Negro, Brasil) de 5.6 kg N ha⁻¹ año⁻¹ y salidas por escorrentía de 4.7 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

En la Tabla III se comparan algunos valores registrados de las entradas de nitrógeno por las precipitaciones y salidas por drenajes en diferentes ambientes tropicales y templados.

Tabla III: Contenido del N en aguas en diferentes ambientes. Los valores están en Kg ha⁻¹ año⁻¹

Localidad	PT	PE	DRENAJES
Amazonas (1) Tierra-Firme (Venezuela)	11.5	25.3	14.0
Amazonas(2) Caatinga (Venezuela)	21.0	9.0	12-14
Costa de Marfil (3)	21.2	80.0	21-32
Carolina del Norte(4) (U.S.A)	6.3	4.0	0.16
Cuenca Hubbard Brook New Hampshire(5) (U.S.A)	20.7	9.3	4.0
Douglas Oregon (6) (U.S.A)	2.0	3.4	1.7
Cultivo de caña de azúcar - Venezuela	26.3	14.3	5.3
Selva Hardbook (8) Coweeta (U.S.A)	8.8	3.3	0.09

(1) Jordan *et al* (1982)

(5) Likens *et al* (1977)

(2) Herrera & Jordan (1981)

(6) Sollins (1980, cita de Jordan *et al*, 1983)

(3) Bernhard-Reversat (1975, cita de Jordan *et al*, 1982)

(7) Infante *et al*, 1993

(4) Todd *et al* (1978, cita de Jordan *et al*, 1982)

(8) Swank & Crossley (1987)

Dada la importancia de los agroecosistemas cafetaleros en la zona andina, el CENTRO DE INVESTIGACIONES ECOLOGICAS DE LOS ANDES TROPICALES (CIELAT) desarrolló el proyecto ESTUDIOS INTEGRADOS DE LOS AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS EN LOS PUEBLOS DEL SUR DE MERIDA, coordinado por la Dra. Maximina Monasterio cuyo objetivo general es el de analizar y comprender la estructura, dinámica y limitantes socioeconómicos de los sistemas cafetaleros de montañas tropicales dado que estos se encuentran en ambientes de gran fragilidad, donde el enfoque integral de la ecología puede generar conocimientos para establecer políticas de manejo racional del ambiente de montaña en armonía con una producción social sostenida que incremente el bienestar del campesinado (Ataroff, 1990).

El análisis del balance de nutrientes en los sistemas permite tener una visión de las pérdidas de elementos en ellos y diagnosticar los procesos claves que están participando en la dinámica de los mismos. Ataroff (1990) en una primera etapa del proyecto cuantificó las entradas y salidas de agua y bases cambiables (K,Ca,Mg,Na) en los mismos agroecosistemas cafetaleros que se analizan en el presente estudio.

Este Trabajo como parte de la segunda etapa del proyecto general, tiene como objetivo analizar el contenido de nitrógeno en el agua de distintos compartimientos hídricos de tres agroecosistemas cafetaleros ubicados en Canaguá, Edo. Mérida, así como las variaciones temporales en dos ciclos anuales.

2. OBJETIVOS

a) Objetivo General

Analizar los cambios anuales y estacionales en el contenido de nitrógeno total en los diferentes compartimientos del balance hídrico en las principales formas del manejo del café: cafetal de sol en plena producción, cafetal con sombra parcial y cafetal de sol en su primer año de plantación; a lo largo de dos ciclos anuales (Junio de 1989 - Mayo de 1991) y las consecuencias ecológicas de las variaciones registradas en las diferentes formas del manejo del café.

b) Objetivos específicos

- b.1. Analizar el contenido del nitrógeno disuelto en aguas de precipitación total, precipitación efectiva, escurrimiento por los troncos, escorrentía superficial, drenaje oblicuo y drenaje vertical en sistemas cafetaleros de sol y de sombra parcial.**
- b.2. Analizar los cambios sufridos por el contenido de nitrógeno en compartimientos hídricos al producirse un cambio de manejo en la misma plantación, cuando un cafetal con sombra parcial es convertido en cafetal de sol.**
- b.3. Analizar las variaciones temporales en dos ciclos anuales del contenido de nitrógeno en los diferentes compartimientos del balance hídrico en cada uno de los cafetales.**

3. AREA DE ESTUDIO

3.1. Descripción del Area de Estudio

El Area de estudio está ubicada en la zona de Canaguá, en Los Pueblos del Sur del Estado Mérida, específicamente en la finca de la familia Mora Mora situada a 1700 m de altitud, en las laderas de la margen izquierda del río Canaguá, en el sector Río Arriba. Durante el primer año de estudio presentaba, entre otros, tres cafetales contiguos, uno de sol, otro de sombra total y otro de sombra parcial que se encontraban a pocos metros de distancia (aproximadamente 50 m) en la misma cota, con una pendiente de 31° y sobre el mismo sustrato: Formación Mucuchachí. Los suelos son úmbricos correspondiendo a Typic humitropept franco esquelético (Ataroff, 1990). Al iniciarse el segundo año de estudio el cafetal de sombra parcial fué convertido en un nuevo cafetal de sol.

La estación meteorológica más cercana a estos cafetales está instalada en el pueblo de Canaguá con un desnivel de unos 170 m en relación a las parcelas. En la Figura 1, se muestran las características generales del clima, según ésta, presenta un régimen biestacional bien marcado que se observa en todas las cuencas que reciben la influencia de los vientos llaneros, con un período seco de cuatro meses de Diciembre a Marzo y otro lluvioso de Abril a Noviembre, con una temperatura media de 18.5 °C y un total de precipitaciones de 1344 mm, correspondientes al lapso comprendido entre 1969 y 1982.

CANAGUA (1.560 m)

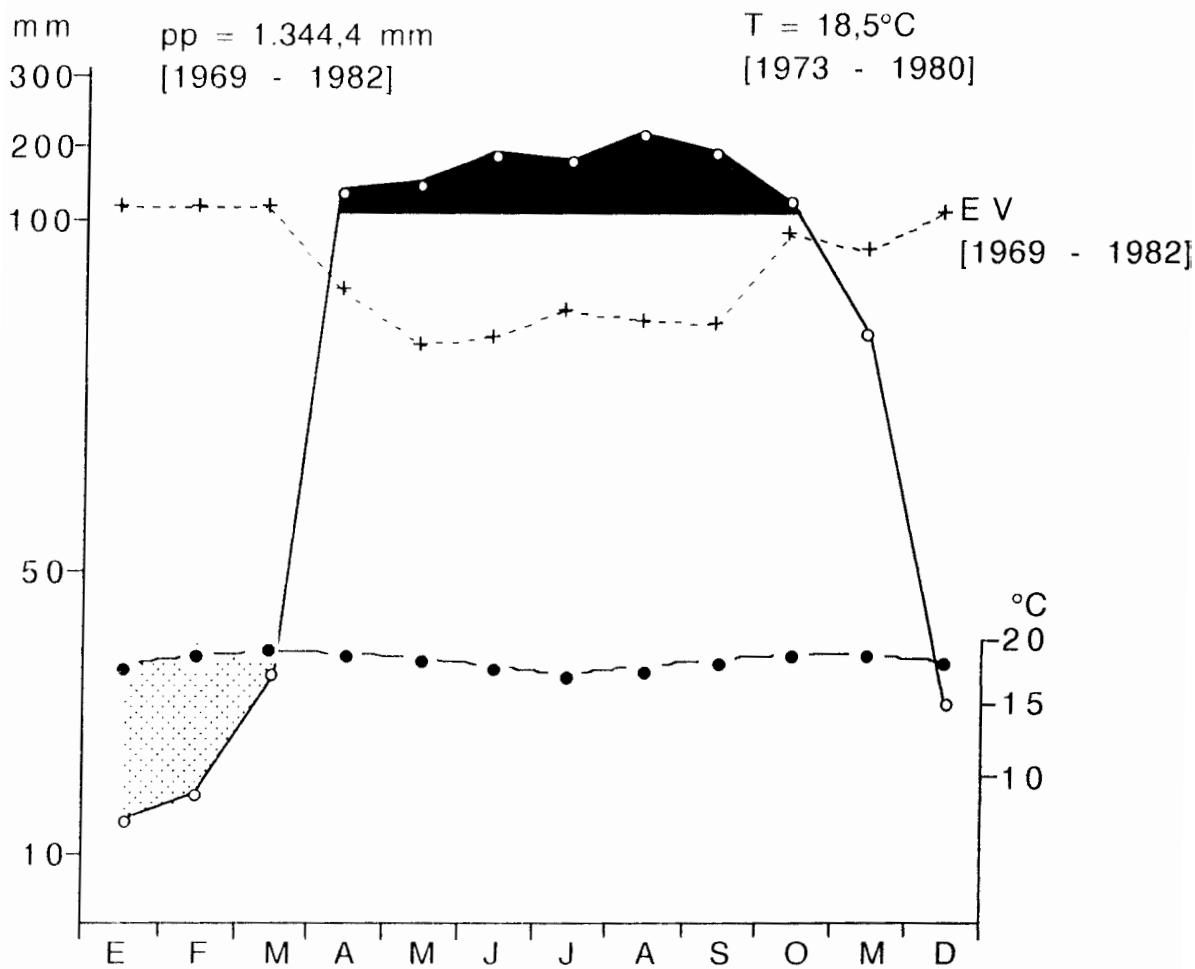


Figura 1: Climadiagrama tipo Gausson de la estación Canaguá Línea punteada: Evaporación Tina (Tomado de Ataroff, 1990)

3.2. Estructura de los cafetales bajo diferentes manejos.

a) Cafetal de Sol, en plena producción

Este cafetal tiene arbustos de *Coffea arabica* var. *bourbon* y var. *caturra*; algunas plantas de *Musa paradisiaca*, cuya densidad es de 0.01 plantas/m²; además de una escasa cobertura de gramíneas y helechos, y restos muertos de árboles que estaban allí anteriormente. Las plantas de café fueron sembradas de a pares en 1983, con una densidad de 0.31 plantas/m², son de porte pequeño, no más de 2 m de follaje denso y ramas cortas (Fig. 2).

b) Cafetal de sombra parcial

Este cafetal tiene arbustos de *Coffea arabica* var. *arabica*, parcialmente sombreados por el follaje de *Inga oerstediana*, estos árboles tienen una densidad de 0.004 plantas/m². El cafetal tiene 16 años de edad y una densidad de 0.43 plantas/m². El 48% de la superficie del cafetal está bajo la sombra parcial de *I. oerstediana*; la cobertura del cafeto por *I. oerstediana* corresponde a un 25% y el resto corresponde a los cafetos que quedan a cielo abierto y a los cafetos que *I. oerstediana* cubre sólo en los bordes. A partir del muestreo 26 (correspondiente a Mayo de 1989), la cobertura del cafeto por *I. oerstediana* disminuyó a un 13% (Fig. 3).



Figura 2: *Coffea arabica* var . *bourbon*



Figura 3: *Coffea arabica* var . *arabica*

c) Cafetal de sol, en su primer año de plantación

El área donde estaba el cafetal de sombra parcial, en Mayo de 1990 (correspondiente al muestreo 47), se transformó en el nuevo cafetal de sol, a raíz de la muerte de todos los árboles sombreantes y de la remoción de los arbustos de *Coffea arabica var. arabica*, provocado por el dueño de la finca. En este nuevo cafetal, se plantaron arbustos de *Coffea arabica var. caturra*, con una densidad de 0.33 plantas/m²; presenta una escasa cobertura de gramíneas y helechos y algunas plantas de *Musa paradisiaca* que tienen una densidad de 0.05 plantas/m².

4. METODOLOGIA

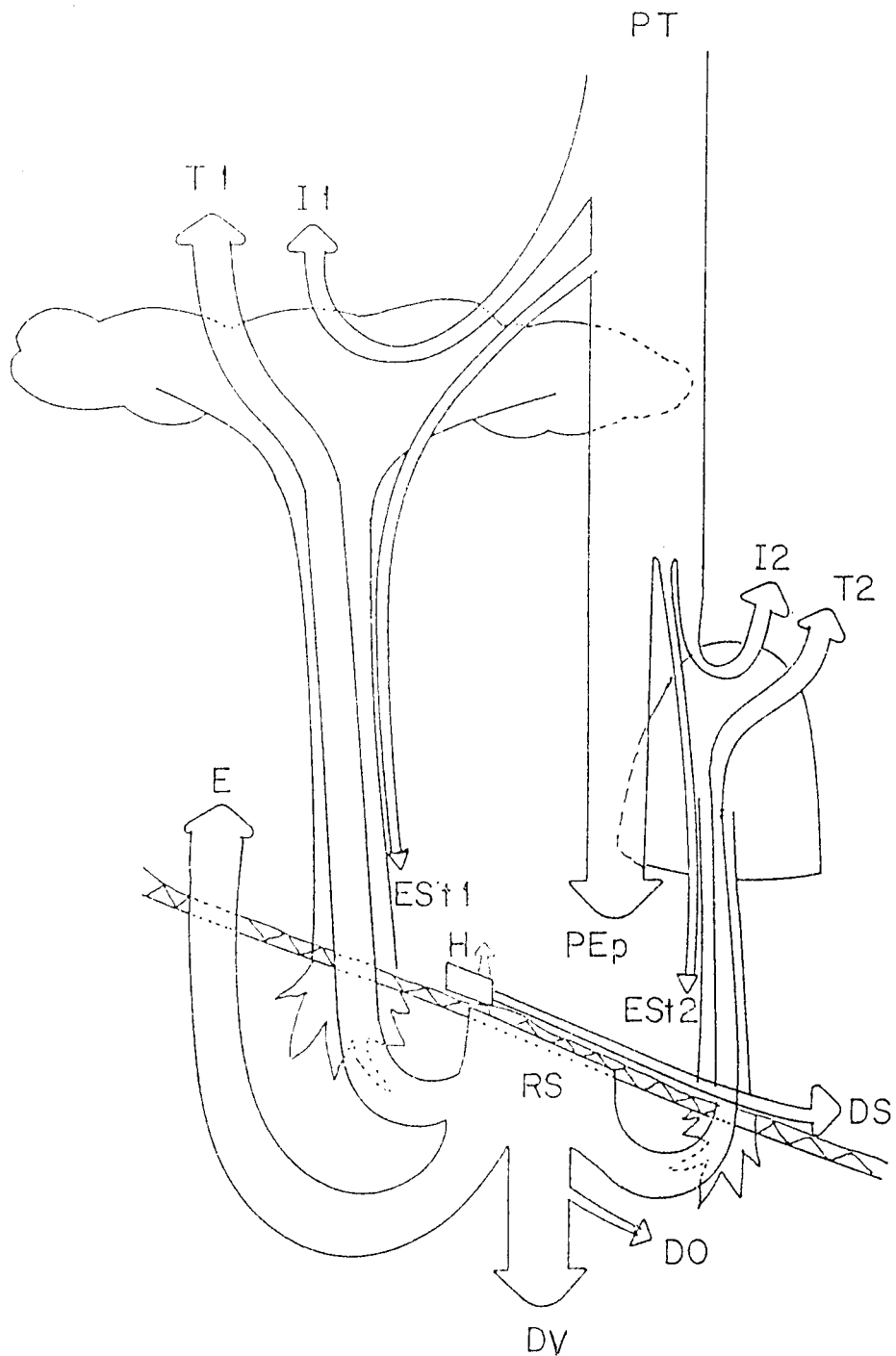
Para este estudio se utilizaron muestras de agua obtenidas mediante una infraestructura ya instalada en el campo, en la localidad de Canaguá, Pueblos del Sur de Mérida (Edo. Mérida).

4.1. Toma de las muestras de agua

4.1.1. Entradas, salidas y flujos de agua estudiados

En cada uno de los cafetales se ha estudiado las entradas de agua, algunas salidas y flujos. En la Figura 4, se muestra un esquema que representa los compartimientos del balance hídrico del "Agroecosistema cafetal", donde la Precipitación total (PT) es la suma de la Precipitación Efectiva Parcial (Pep), del Ecurrimiento por los troncos (ESt) y de la Intercepción (I); a su vez ESt es la suma de ESt en *Inga oerstediana* (ESt₁) y en *Coffea arabica* (ESt₂) y la I, es la suma de I en *Inga oerstediana* (I₁) y la I en *Coffea arabica* (I₂). En el caso del cafetal de sol no se miden los términos ESt₁ y I₁. También PT es igual al Drenaje Superficial (DS), más el Drenaje Oblicuo (DO), el Drenaje Vertical (DV), la reserva de agua en el suelo (RS) y de la evapotranspiración (ETR).

Para estudiar parte de dichos flujos, se demarcaron parcelas de estudio (una de cada tipo de manejo) dentro de las cuales las prácticas agrícolas siguieron inalteradas.



$$PT = PE_p + EST + I = DS + DO + RS + DV + ETR$$

CAFETAL SOMBRA

$$EST = EST_1 + EST_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$ETR = I + T_1 + T_2 + E + H$$

CAFETAL SOL

$$EST = EST_2$$

$$I = I_2$$

$$ETR = I + T_2 + E + H$$

Figura 4: Esquema del Balance Hídrico en un agroecosistema cafetalero (Tomado de Ataroff & Monasterio, 1984)

En el proyecto general se utilizaron una serie de dispositivos para realizar las medidas y las tomas de muestras que permiten estudiar el balance hídrico y de nutrientes y el proceso de erosión en las parcelas experimentales. La Figura 5 muestra la distribución de los dispositivos en la finca del Sr. Mora. A continuación se describirán los dispositivos instalados en el campo.

4.1.2. Medidas de entradas de agua y nutrientes al sistema

a) Precipitación total y precipitación efectiva parcial.

Los pluviómetros utilizados se construyeron a partir del diseño de Acevedo (1988), los cuales consisten en envases de plástico hechos con tubería para electricidad de 4" de diámetro con un fondo sellado de "plexiglas" y cuyo borde libre se deforma con calor de modo que se ajuste a los bordes de un embudo que es el receptor de agua. En los pluviómetros se introducen envases plásticos pequeños del mismo diámetro con tela de nylon en el fondo que retiene la basura que pueda penetrar en él. El área de captación de cada pluviómetro es de 0.00893 m^2 .

Cada vez que se vacían los pluviómetros se vierte en ellos una cantidad de parafina (químicamente inerte) que forma una capa sobrenadante en el agua evitando la evaporación sin interferir en los análisis químicos.

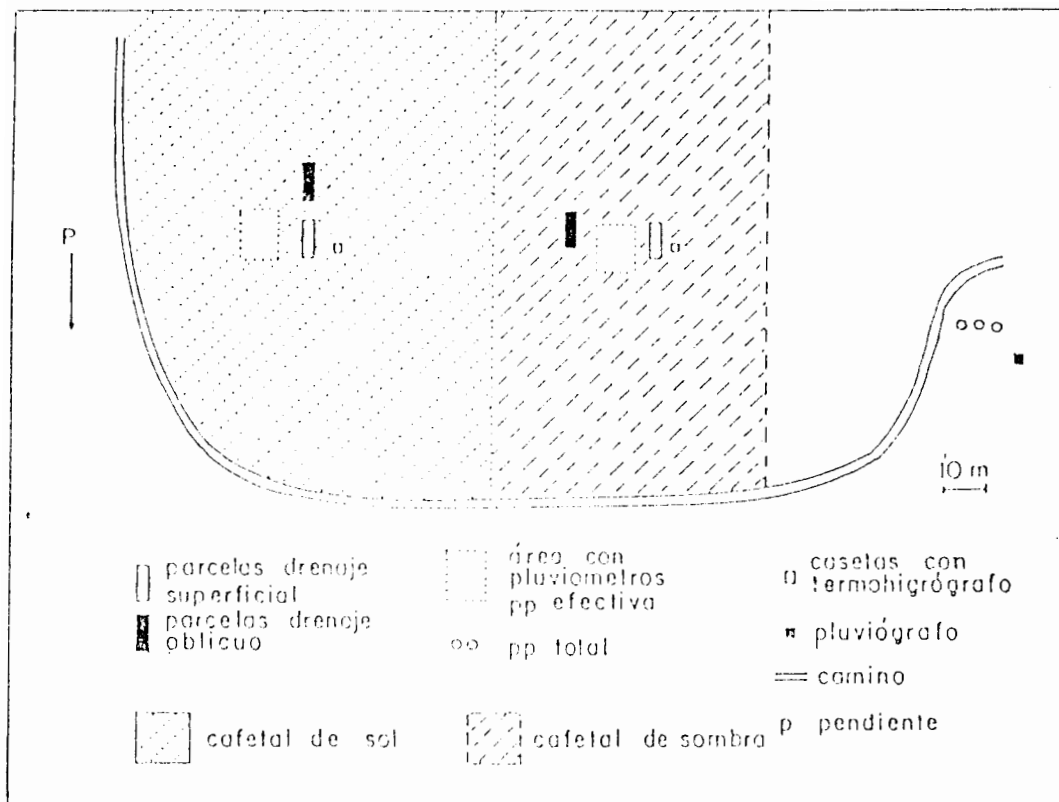


Figura 5: Disposición sobre el terreno de los dispositivos para medidas de campo. (Tomado de Ataroff, 1990)

Para medir la precipitación total, fueron instalados tres pluviómetros a 1.8 m del suelo en área completamente descubierta. Estos pluviómetros estaban instalados en el patio de la casa del Sr. Mora, la cual queda a poca distancia de las parcelas.

Los pluviómetros para precipitación efectiva parcial se enterraron hasta dejar 10-15 cm sobre la superficie, garantizando así que no entre en ellos agua de escurrimiento superficial. Para facilitar el ser sacados de la tierra periódicamente, cada hueco que contiene un pluviómetro es forrado con un cilindro hecho con tubo PVC de 4" (Figuras 6 y 7).

En el cafetal de sombra parcial los pluviómetros se colocaron al azar sobre tres líneas. En el cafetal de sol en plena producción, se colocaron al azar en un área de 20 x 20 m. En el cafetal de sol en su primer año de implantación no se midió la precipitación efectiva parcial durante el primer año ya que la cobertura de las nuevas plantas se consideró despreciable en esta etapa. En cada muestreo se tomaron dos alícuotas de 250 mL, provenientes de muestras compuestas, es decir, se mezcló el agua contenida en cada uno de los pluviómetros.

b) Escurrimiento por los troncos.

El agua de precipitación efectiva parcial no es la única fracción que llega al suelo ya que una parte del agua originalmente interceptada escurre por las ramas hasta los tallos o troncos deslizándose así hasta el suelo, esta fracción de la precipitación efectiva es medida con colectores de tronco (Figura 8). Estos colectores consisten en una especie de embudo confeccionado con plástico flexible que se adhiere alrededor del tronco con asfalto y cintas plásticas.

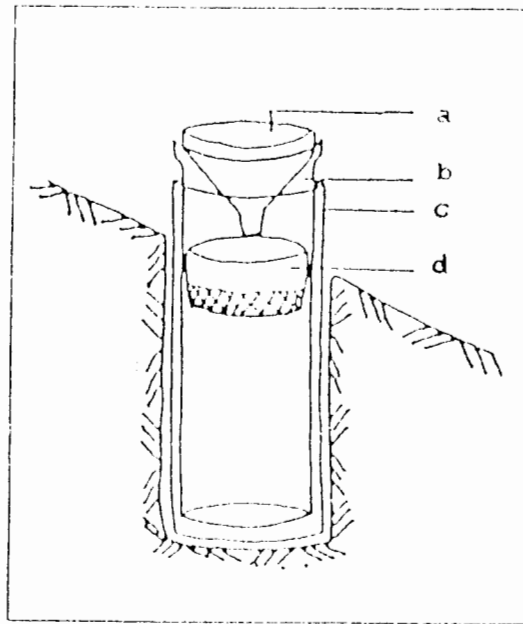


Figura 6: Pluviómetro: a) embudo colector, b) envase colector, c) soporte, d) filtro. (Tomado de Ataroff, 1990)



**Figura 7: a) Colector de hojarasca, b) pluviómetro
(Tomado de Ataroff, 1990)**



Figura 8: Dispositivo para medir escurrimiento por los troncos de cafe (Tomado de Ataroff, 1990)

4.1.3. Medidas de salidas de agua y nutrientes del sistema

a) Escorrentía Superficial

En los cafetales bajo estudio se instalaron "parcelas de erosión" de 6 x 2 m con el lado mayor en el sentido de la pendiente (31°). Estas parcelas (Figuras 9 y 10) estaban "aisladas" por láminas de acerolit enterradas en el suelo; en la parte más baja de la parcela, una canal techada recoge el agua y la dirige hacia dos recipientes, conectados entre sí de modo que el primero sirva como una trampa de sedimento y el segundo como tanque de depósito de agua.

Mediante este sistema se puede medir la cantidad de agua que se pierde por drenaje superficial, la cantidad de nutrientes que se pierden en esa agua, la cantidad de hojarasca y fracción mineral del suelo, que son arrastradas por erosión. Para análisis químico se tomaron dos alícuotas de 250 mL del tanque de depósito, en cada muestreo.

b) Drenaje Oblicuo

Se instaló una parcela de 6 x 2 m con el lado mayor en el sentido de la pendiente, cuyos bordes son limitados por láminas que penetran todo el horizonte funcional del suelo hasta 40 cm. En el borde inferior se instaló una canal por debajo del límite de dicho horizonte que recoge el agua que drena dentro del suelo de la parcela hasta ese nivel, excluyendo el agua que escurre superficialmente (Figura 11).

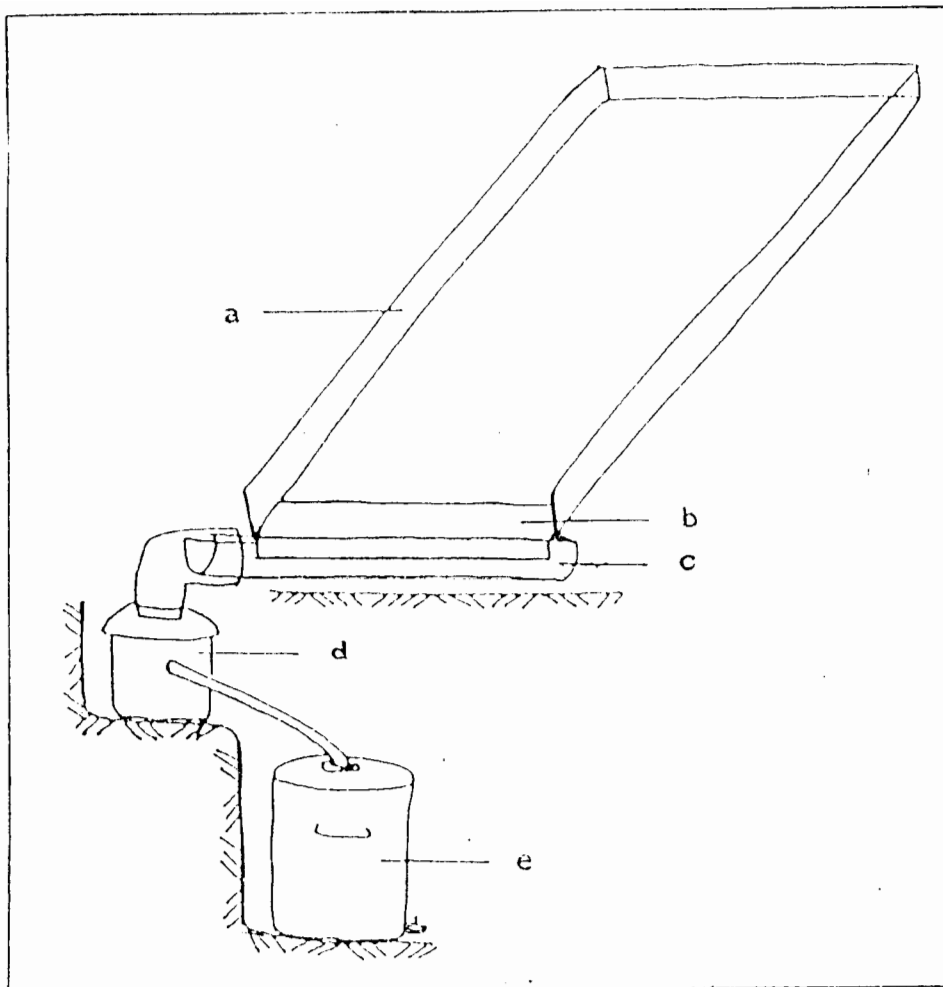


Figura 9: Esquema de las parcelas de erosión:

- a) bordes de acerolit
 - b) plástico de deslizamiento
 - c) canal
 - d) trampa de sedimento
 - e) tanque de depósito
- (Tomado de Ataroff, 1990)



04-03-88

**Figura 10: Parcela de erosión en el cafetal de sol.
(Tomado de Ataroff, 1990) .**

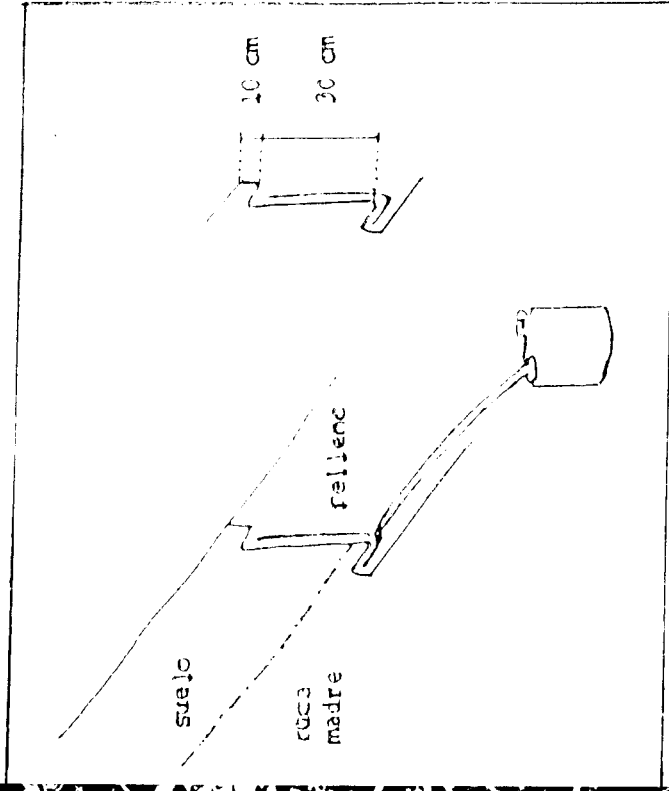


Figura 11: a) Aspecto de la parcela de drenaje oblicuo en el cafetal de sol
b) Corte longitudinal de la parcela mostrando la ubicación de la canal (Tomado de Ataroff, 1990).

Para análisis químico se tomaron dos alícuotas de 250 mL del tanque de depósito, en cada muestreo.

c) Drenaje Vertical

El drenaje profundo fué medido instalando lisímetros abiertos colocados a 30 cm de profundidad, justo donde se acumula la biomasa de las raíces de los cafetos. El agua que drena verticalmente en el suelo y se logra recoger en los lisímetros, es conducida por tuberías hasta un recipiente. Estos lisímetros cubren una superficie horizontal de 30 x 40 cm; fueron instalados a partir del muestreo 41, correspondiente a enero de 1990, en cada uno de los cafetales.

Para análisis químico se tomaron dos alícuotas de 250 mL del tanque de depósito, en cada muestreo.

4.1.4. Frecuencia del muestreo

La recolección de datos en el campo fué en promedio cada 10 días en período lluvioso y cada 20 días en período seco; cada vez se medía el volumen de agua en los pluviómetros, tanque de la parcela de erosión, de drenaje oblicuo, drenaje vertical y tanques de los colectores de tronco y se tomaban alícuotas de 250 mL en cada muestreo para los análisis químicos.

4.2. *Procesamiento de los datos para cada compartimiento hídrico*

Los valores de cantidad de agua en compartimientos y flujos hídricos expresados en L/m^2 han sido tomados de Ataroff & Monasterio (en preparación). Para su conversión en unidades de L/m^2 se procedió de la siguiente manera:

4.2.1. Precipitación total y precipitación efectiva parcial:

Las lecturas medidas en los pluviómetros están expresadas en mL. Se requiere expresarlas en mm de precipitación, que equivale a $1 L/m^2$. Se tomó en cuenta el área de los embudos de los pluviómetros ($0.00893 m^2$) y se hace la relación:

$$X = V * 1/1000 * 1/0.00893 \Rightarrow X = V * 0.012$$

donde X representa el valor expresado en mm de precipitación (L/m^2) y V el valor de las lecturas en el campo expresadas en mL.

4.2.2. Corrección a los valores de Precipitación efectiva parcial:

Cafetal de Sol (en plena producción)

Los datos de los pluviómetros que registraron la precipitación efectiva parcial en el cafetal de sol, se separaron en tres grupos correspondientes a 3 ambientes diferentes: a cielo abierto, en los bordes del cafeto y debajo del cafeto, fueron tratados de la siguiente manera:

Se promediaron los valores de los pluviómetros colocados en cada uno de los tres ambientes citados y se multiplicó el valor promediado por la cobertura relativa de cada uno, es decir: 40 % para cielo abierto, 23 % para borde de los cafetos y 37 % para debajo de los cafetos. Luego se suman los valores obtenidos de los 3 ambientes y se hace la transformación de mL a L/m², multiplicando por 0.012.

Cafetal de Sol (en su primer año de plantación)

No se hizo distinción entre microambientes debido a la escasa cobertura vegetal de los cafetos y la precipitación efectiva parcial se consideró igual a la precipitación total.

Cafetal de Sombra Parcial

Los datos de los pluviómetros que registraron la precipitación efectiva parcial en este cafetal se separaron en tres grupos, correspondientes a tres ambientes diferentes: a cielo abierto, en los bordes del cafeto y debajo del cafeto, fueron tratados de la siguiente manera:

Se promediaron los valores de los pluviómetros colocados en cada uno de los tres ambientes citados y se multiplicó el valor promediado por 13,1% (cobertura relativa de la superficie con *Inga*) y por 38,4% (cobertura relativa de la superficie sin *Inga*) en el ambiente debajo de los cafetos. En el borde de los cafetos el promedio se multiplica por el 7,7% (cobertura relativa de la superficie con *Inga*) y por 22,4% (cobertura relativa de la superficie sin *Inga*). En el ambiente a cielo abierto el promedio se

multiplica por el 4,7% (cobertura relativa de la superficie con *Inga*) y por 13,8% (cobertura relativa de la superficie sin *Inga*) . Luego se suman los valores obtenidos de los 3 ambientes y se hace la transformación de mL a L/m², multiplicando por 0.012.

4.2.3. Esguerrimiento por los troncos:

Se promediaron las lecturas de los colectores dadas en mL, se llevan a (L), y se realiza la siguiente relación:

$$(L/\text{tronco}) \times n. \text{ de troncos/ unidad de superficie (m}^2\text{)}$$

4.2.4. Esguerrencia superficial

Se pesa el agua del tanque de depósito. Se utiliza la ecuación (obtenida de una curva de calibración) para transformar peso en volumen:

$$V \text{ mL} = (g + 0.98) / 0.98$$

luego se suma el volumen de la trampa de sedimento: 19057 mL (en el cafetal de sol), 21634 mL (en el cafetal de sombra total) y 19924 mL (en el cafetal de sombra parcial), una vez determinado el volumen del agua que esguerrió por la parcela se divide entre 10.28 m². (proyección horizontal de la superficie de la parcela) para llevarlo a L/m².

4.2.5. Drenaje oblicuo

Se promedian los valores y se transforman a litros , luego se divide entre 10.28 m² para tener las medidas en L/m².

4.2.6. Drenaje vertical

Se promedian los valores, se transforman a litros y se dividen entre 0.12 m^2 , que es la superficie horizontal que cubren los lisímetros.

4.3. Preparación de las muestras y análisis químico

4.3.1. Preparación de las muestras

El material analizado proviene de muestras tomadas periódicamente durante 1989 y 1991; específicamente desde Junio de 1989 (muestreo 28) hasta Mayo de 1991 (muestreo 64). Estas aguas fueron tratadas con acetato parafenilmercúrico (para evitar crecimiento de algas y otros microorganismos) y se conservaron en la nevera hasta su análisis.

Algunas muestras tuvieron que someterse a tratamientos especiales:

- a) Las muestras de agua de lluvia traen parafina y ésta fué separada por decantación.
- b) Las muestras se predigieren con 1 mL de HCl concentrado en presencia de algas.
- c) En los meses en los que se realizó más de un muestreo, las muestras fueron tratadas de la siguiente manera: Para cada compartimiento hídrico, se mezclan las muestras tomadas en un mismo mes (para tener un solo valor mensual) con el fin de no alterar la concentración de nitrógeno de cada muestreo. Estas mezclas se hacen respetando la relación de volúmenes totales de agua correspondientes a cada compartimiento en cada muestreo. El volumen final es de 150 mL.

Por ejemplo, para el compartimiento Precipitación Total (Pt), de los muestreos 58-59, correspondientes al mes de Diciembre de 1990, tenemos que:

Volumen total de agua para Pt en el muestreo 58: $A = 980 \text{ mL}$

Volumen total de agua para Pt en el muestreo 59: $B = 385 \text{ mL}$,

donde $980 \text{ mL} + 385 \text{ mL} = 1365 \text{ mL}$, la relación que se quiere guardar es:

$$A' + B' = 150 \text{ mL};$$

siendo A' , la alícuota que se toma del muestreo 58 y B' la alícuota que se toma del muestreo 59. Para ello hacemos:

$$\frac{980 \text{ mL}}{385 \text{ mL}} = \frac{150 - B'}{B'} \Rightarrow 980 * B' = 385(150 - B') \Rightarrow$$

$$980 * B' = 385 * 150 - 385 * B' \Rightarrow B'(980 + 385) = 385 * 150$$

$$B' = \frac{385 * 150}{980 + 385} \quad B' = 42 \text{ mL} \quad A' = 108 \text{ mL}$$

Esta relación se realiza cuando hay dos muestreos en el mes; cuando hay tres, se sigue la siguiente relación:

$$A' + B' + C' = 150 \text{ mL}, \text{ donde:}$$

$$A' = 150 * A / (A + B + C), \quad B' = 150 * B / (A + B + C), \quad C' = 150 * C / (A + B + C)$$

Por ejemplo, para el compartimiento Precipitación Total (Pt), de los muestreos 58-59, correspondientes al mes de Diciembre de 1990, tenemos que:

Volumen total de agua para Pt en el muestreo 58: $A = 980 \text{ mL}$

Volumen total de agua para Pt en el muestreo 59: $B = 385 \text{ mL}$,

donde $980 \text{ mL} + 385 \text{ mL} = 1365 \text{ mL}$, la relación que se quiere guardar es:

$$A' + B' = 150 \text{ mL};$$

siendo A' , la alícuota que se toma del muestreo 58 y B' la alícuota que se toma del muestreo 59. Para ello hacemos:

$$\frac{980 \text{ mL}}{385 \text{ mL}} = \frac{150 - B'}{B'} \Rightarrow 980 * B' = 385(150 - B') \Rightarrow$$

$$980 * B' = 385 * 150 - 385 * B' \Rightarrow B'(980 + 385) = 385 * 150$$

$$B' = \frac{385 * 150}{980 + 385} \quad B' = 42 \text{ mL} \quad A' = 108 \text{ mL}$$

Esta relación se realiza cuando hay dos muestreos en el mes; cuando hay tres, se sigue la siguiente relación:

$$A' + B' + C' = 150 \text{ mL}, \text{ donde:}$$

$$A' = 150 * A / (A + B + C), \quad B' = 150 * B / (A + B + C), \quad C' = 150 * C / (A + B + C)$$

3.2. Análisis Químico

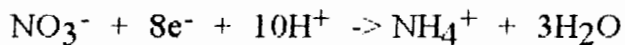
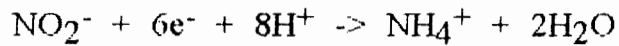
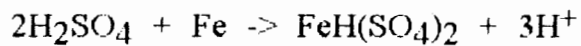
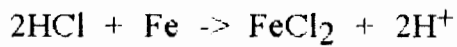
El nitrógeno total que se mide en las aguas es nitrógeno inorgánico en sus distintas formas: nitratos, nitritos y amonio, así como puede encontrarse nitrógeno en forma orgánica proveniente de las partículas de polvo atmosférico arrastrado por precipitaciones, y en caso de aguas de drenaje, el nitrógeno proviene del arrastre de ácidos fúlvicos y húmicos, como de partículas de materia orgánica en suspensión.

Para la determinación de la cantidad de nitrógeno total presente en las muestras de agua se utiliza el Método de Micro-Kjeldahl (Müller, 1961). La única modificación realizada al método original es la digestión que se realiza bajo reflujo (Lab. de Espectroscopía Molecular, trabajo no publicado) debido a que se necesita una digestión que permita la reducción de los nitratos y nitritos a amonio y que garantice que las muestras no se evaporen, ni que se produzcan pérdidas de nitrógeno por volatilización o descomposición de sales de amonio.

En esta primera etapa se toman 20 mL de la muestra en un erlenmeyer de 125 mL. Se agregan 1 mL de HCl concentrado, 2 mL de H₂SO₄ y un metal semigranulado ya sea Zinc o hierro metálico. El medio reductor del nitrógeno se forma por la acción enérgica del HCl sobre el metal; produciendo al reaccionar una gran cantidad de hidrógenos libres y activos (nacientes), proceso que se ve favorecido por el calentamiento de las muestras. El H₂ naciente radical del HCl realiza la reducción de los nitritos a nitratos y estos a amonio. Todo el amonio producido va a ser fijado como sales de cloruro y sulfato. El nitrógeno orgánico que se pudiera encontrar en las muestras va a ser

descompuesto por H_2SO_4 y llevado a sulfato de amonio. La digestión se realiza comenzando a bajas temperaturas y aumentandola gradualmente por 30 minutos. Se deja enfriar y se retiran los erlenmeyer del sistema. Una vez que las muestras estén digeridas se utiliza el Método de Micro-Kjeldahl (Müller, 1961).

Las reacciones que ocurren durante la digestión son las siguientes:



5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Entradas de agua y nitrógeno disuelto

5.1.1. Precipitación Total

La precipitación total es la única entrada de agua en los cafetales bajo estudio, ésta fué medida por medio de pluviómetros ubicados a cielo abierto. En la Fig. 12a se muestra la distribución de las precipitaciones para el lapso comprendido entre Junio 1989 - Mayo 1991. Se puede observar un período lluvioso y otro seco para cada año, bien diferenciados, cuyas características se muestran en la Tabla IV. Se puede notar que hay gran variabilidad entre meses de distintos años pero con proporciones similares en mm de precipitación por períodos, 83 % durante el período lluvioso y 17 % durante el período seco.

Söderlund (1981) y Sanhueza (1982) han señalado que la remoción de los compuestos nitrogenados de la atmósfera se produce fundamentalmente por precipitación mientras que las deposiciones secas son removidos por gravedad, vientos y difusión molecular.

Tabla IV: Distribución de las precipitaciones en las parcelas bajo estudio.

Año	Meses lluviosos (mm)	Meses secos (mm)	Total
Junio 1989 a Mayo 1990	1380,9 (83 %)	301,5 (17 %)	1682,4
Junio 1990 a Mayo 1991	1475,0 (83 %)	314,2 (17 %)	1789,2

TABLA V: CONTENIDO DE N EN DIFERENTES COMPARTIMIENTOS HIDRICOS EN LOS CAFETALES
VALORES EN Kg N *ha⁻¹*año⁻¹

PERIODO	PT	Cafetal de Sombra Parcial				Cafetal de sol de 8 años				
		P.efec Parcial	Esc. troncos café	Esc. superf. superf.	Drenaje Profundo	P.efec Parcial	Esc. troncos café	Esc. superf. superf.	Drenaje Oblicuo Profundo	
Lluvioso	4.02	1.56	0.12	3.5	∞	2.11	0.07	4.52	0.013	∞
Seco	0.84	1.42	0.06	0.99	∞	1.58	0.01	0.79	0.009	∞
Total 89-90	4.86	2.98	0.18	4.39	∞	3.69	0.08	5.31	0.022	∞

PERIODO	PT	Cafetal de Sol en su primer año				Cafetal de sol de 9 años				
		P.efec Parcial	Esc. troncos café	Esc. superf. superf.	Drenaje Profundo	P.efec Parcial	Esc. troncos café	Esc. superf. superf.	Drenaje Oblicuo Profundo	
Lluvioso	9.61	∞	∞	2.32	13.69	8.86	0.25	1.8	0.01	0.97
Seco	1.5 [0.97]	∞	∞	0.53	2.89*	0.62	0.03	0.51	0.005	0.16
Total 90-91	11.11 [10.58]	∞	∞	2.85	16.58*	9.48	0.28	2.31	0.02	1.13

c No se habian instalados los lisímetros

§ Para el cafetal de sol en su primer año, la intercepción se considera insignificante y la Prefectiva parcial se supone igual a la P.T.

* Faltan meses de Noviembre y Diciembre 90.

| | Valor sin meses de Noviembre y Diciembre 90.

Las precipitaciones pueden representar una entrada importante de Nitrogeno al ecosistema, del orden de 2 a 30 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Ungemach, 1970 cita de Likens *et al*, 1977; Allen *et al*, 1974; Likens *et al*, 1977 y Aranguren *et al*, 1982). Nuestros resultados están en ese orden: hemos medido 4.86 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ durante el primer año (Junio 1989 - Mayo 1990) y 11.11 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ durante el siguiente (Junio 1990 - Mayo 1991) (Tabla V).

Con respecto a las oscilaciones que se observan en la concentración de nitrógeno, tanto en la Pt como en la Pep de ambos cafetales podríamos asumir lo siguiente: el agua de los pluviómetros es agua acumulada por 10 ó 20 días, por cierto tiempo podría haber algún contaminante, aunque los errores que se presentan por fluctuaciones siguen las tendencias en ambos cafetales, es decir, cuando hay un incremento en un cafetal también lo hay en el otro; las oscilaciones no se pueden explicar por errores en los dispositivos de recolección, debemos suponer que esas oscilaciones son reales en las aguas y de esas oscilaciones algunas son posibles explicarlas.

La variación anual de las entradas de nitrógeno por precipitación en el agroecosistema cafetalero tienden a seguir, en general, la tendencia de las precipitaciones, observándose que durante las épocas lluviosas los montos son mayores que en las épocas secas (Figura 12c). En la época lluviosa del período 90-91 el monto fué de 9.61 Kg N/ha, Agosto fué el mes de mayor aporte con 4.14 Kg N/ha, a causa de la alta precipitación registrada y de la alta concentración en nitrógeno, siendo ambas las mayores en todo el lapso de estudio (Tabla V y Fig. 12).

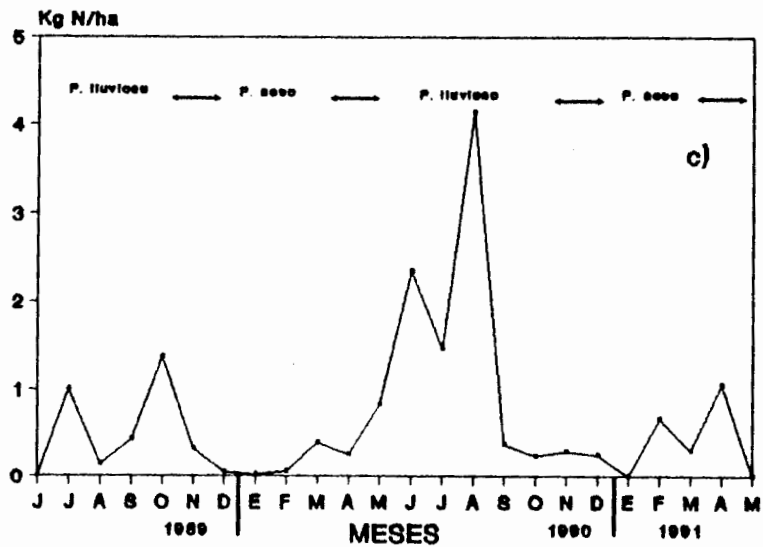
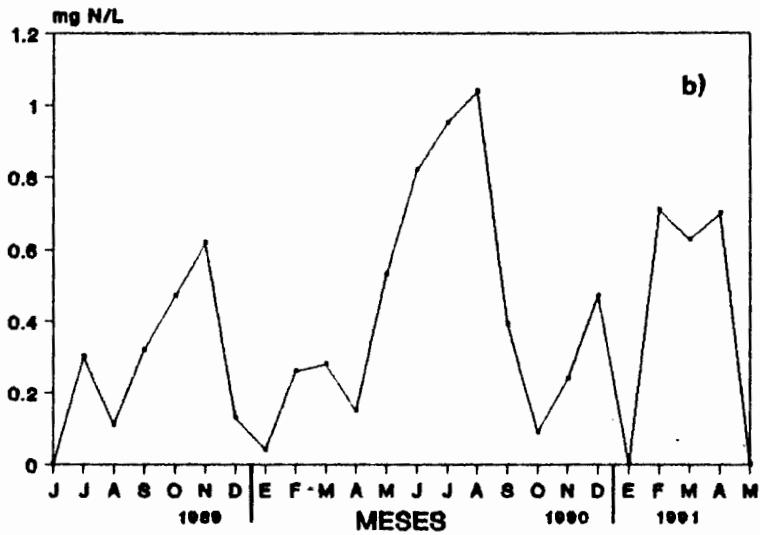
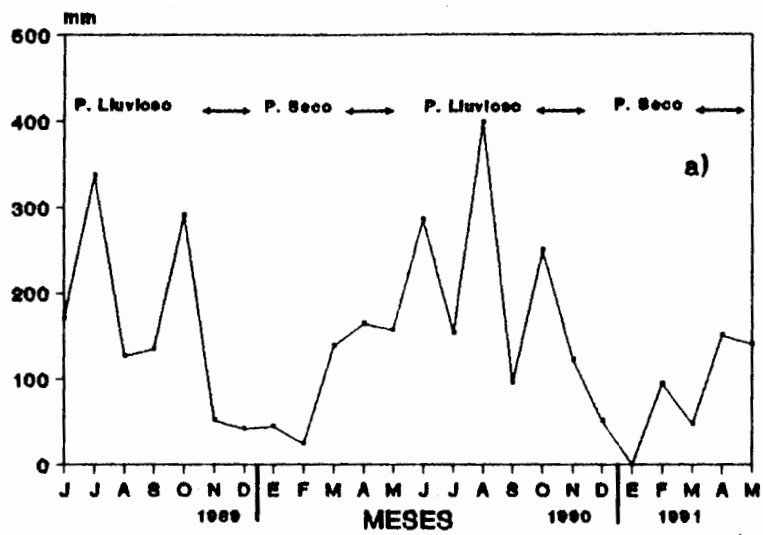


Fig. 12: Precipitación total (1989-1991): a) cantidad de agua en mm; b) concentración de N (mg N/L); c) contenido total de N (KgN/ha)

En la época lluviosa del período 89-90, el aporte fué menos importante, 4.02 Kg N/ha y eso fué debido a que las concentraciones de N fueron menores en este lapso (Fig. 12 b). Las épocas secas mostraron los menores montos 0.84 Kg N/ha (89-90) y 1.5 Kg N/ha (90-91) (Tabla V) como consecuencia no de las menores concentraciones de nitrógeno sino de la disminución de las precipitaciones (Fig. 12a y b). Los resultados encontrados son coherentes con lo presentado por Allen *et al* (1968) quienes señalan que los períodos de altas precipitaciones aportan grandes cantidades de elementos y períodos de bajas precipitaciones pequeñas cantidades, aun cuando la concentración del elemento en este último caso, sea alta. Alcock & Morton (1985) observaron que una pequeña cantidad de precipitación es eficiente en el lavado de nutrientes desde la atmósfera y por lo tanto se pueden esperar mayores concentraciones a inicios de la época lluviosa, mientras que precipitaciones frecuentes en un corto lapso diluyen los nutrientes en la lluvia. Sin embargo, esto no se observa en este trabajo ya que hemos medido altas concentraciones en cualquier época del año (Fig. 12b).

Es interesante resaltar la variabilidad interanual. Para el segundo año de estudio tanto las concentraciones como el contenido total de nitrógeno fueron mayores. Alcock & Morton (1985) también registraron un incremento de 5,8 a 20 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ en dos años consecutivos. Estas diferencias deben estar relacionadas con las condiciones atmosféricas particulares en cada caso. Infante *et al* (1993) encontraron al norte de Venezuela una alta proporción de amonio en las aguas de lluvia y proponen que puede deberse a varios factores tales como la cercanía al mar, en donde los productos de descomposición de la materia orgánica pueden liberar amoníaco a la atmósfera, a la emisión de gases nitrogenados a la atmósfera de las industrias petroquímicas cercanas al

área de estudio y a la actividad agrícola y pecuaria en la zona, la cual induce a pérdidas gaseosas de nitrógeno como amoníaco.

Es conocido también, como señala Lewis (1981) que los aerosoles pueden ser de origen local como las quemadas producidas en las cercanías o pueden recorrer grandes distancias como polvo transportados periódicamente a través del Atlántico desde las regiones áridas y desérticas del Norte de África y que este polvo mineral es común y puede producir una bruma densa. Se ha mostrado que en los meses de verano la distribución del polvo está relacionada a circunstancias macro y micro-meteorológicas (Prospero *et al.*, 1981). En nuestro caso, en las cercanías de la zona de estudio no hay grandes ciudades, ni industrias que pudieran considerarse como fuentes aportadoras de nitrógeno, igualmente, aunque la zona recibe influencia de los vientos llaneros no se observa el incremento de nitrógeno que pudiera esperarse durante la época seca, como consecuencia de las quemadas en las sabanas. Así que, probablemente las grandes variaciones se deban a aerosoles de origen lejano.

5.1.2. Precipitación Efectiva Parcial

Al entrar en contacto con la vegetación parte del agua de lluvia es interceptada (I) y parte llega a la superficie del suelo, esta última es la precipitación efectiva total (Pet). La precipitación efectiva puede llegar por goteo y/o por incidencia directa, esta corresponde a la precipitación efectiva parcial (Pep); o puede llegar, por escurrimiento por los troncos (ESt), de modo que:

$$\text{Pet} = \text{Pep} + \text{ESt} \quad \text{y} \quad \text{I} = \text{Pt} - \text{Pet}.$$

En la Fig. 13 se muestra la relación entre la precipitación total y la precipitación efectiva parcial en ambos cafetales.

Se puede observar, que para ambos cafetales la precipitación efectiva parcial sigue la tendencia de la precipitación total y que presenta montos menores en el cafetal de sombra que en el de sol hasta mediados del año 1990 cuando los árboles de sombra fueron secados desapareciendo el estrato superior de la vegetación.

a) Cafetal de Sombra Parcial

Para el primer año de estudio en el cafetal de sombra parcial la Pep fue 69 % con respecto a la precipitación total, siendo 66 % en la época lluviosa y 84 % en la época seca (Tabla VI).

El agua de lluvia al pasar a través de los distintos estratos de vegetación (árboles de sombra, cafetos, etc.) cambia su composición química por efecto del lavado foliar. En la Fig. 14b), podemos ver que la concentración de nitrógeno tiene dos máximos, uno en plena época lluviosa, cuando hay un máximo en el follaje tanto en los cafetos, como en los árboles sombreantes; y otro a finales de la época seca. Sin embargo sólo el segundo máximo correspondiente a la época seca, muestra concentraciones mayores que las de la precipitación total (Fig. 14d) indicando un enriquecimiento por lavado foliar que coincide con el momento de renovación del follaje y floración (Ataroff & Monasterio, 1994). Las oscilaciones se observan en ambos cafetales; el patrón general es: pluvio lavado en la época seca y retención del elemento por parte del follaje, en la época lluviosa. Estos resultados coinciden con los trabajos

TABLA VI: PRECIPITACION TOTAL Y PRECIPITACION EFECTIVA PARCIAL EN CAFETAL DE SOMBRA PARCIAL Y CAFETAL DE SOL. VALORES EN mm

PERIODO	PT	Cafetal de Sombra Parcial		Cafetal de sol de 8 años	
		P.efec Parcial	%P.T.	P.efec Parcial	Drenaje Profundo
Lluvioso	1380.9	909.3	65.8	1119.2	81.0
Seco	301.5	252.4	83.7	243.2	80.7
Total 89-90	1682.4	1161.7	69.0	1362.4	80.9

PERIODO	PT	Cafetal de Sol en su 1 año		Cafetal de sol de 9 años	
		P.efec Parcial	%P.T.	P.efec Parcial	Drenaje Profundo
Lluvioso	1475	§	§	1241.2	84.1
Seco	314.2	§	§	276.1	87.9
Total 90-91	1789.2	§	§	1517.3	84.8

§ En el cafetal de sol en su primer año la precipitación se supone igual a la P.T., porque la intercepción se considera insignificante.

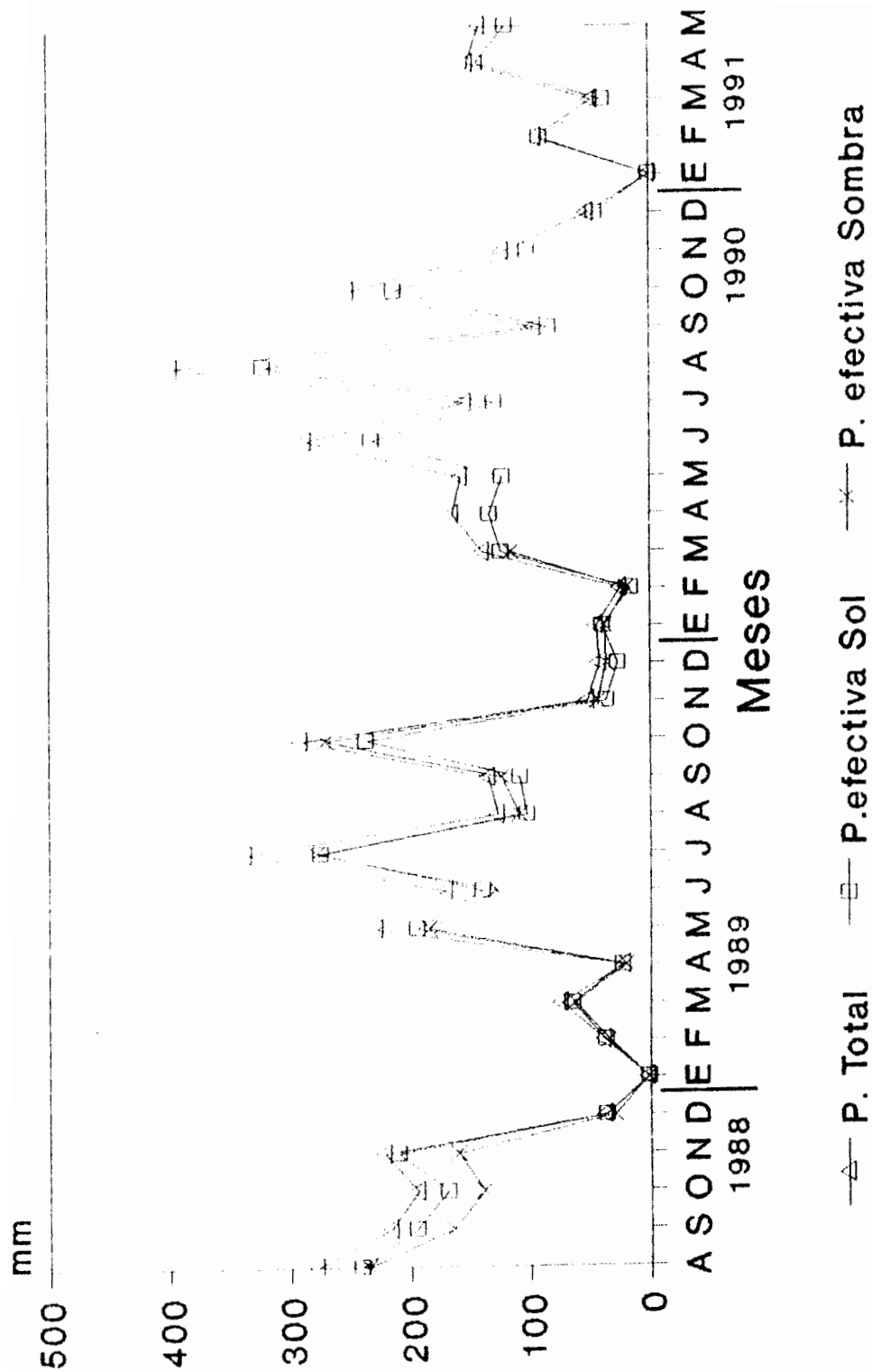


Fig. 13. Evolución de la precipitación total y precipitación efectiva (parcial) en el cultivo de maíz en planta permanente y cultivo de cobertura por 4 años (1988-1991).

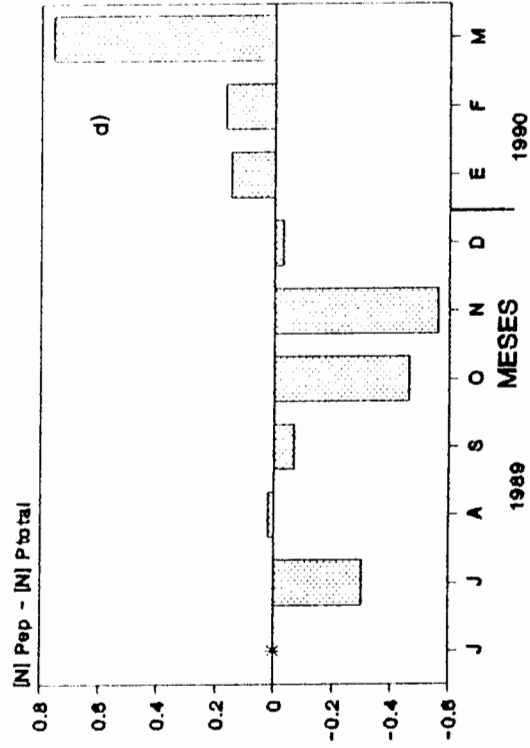
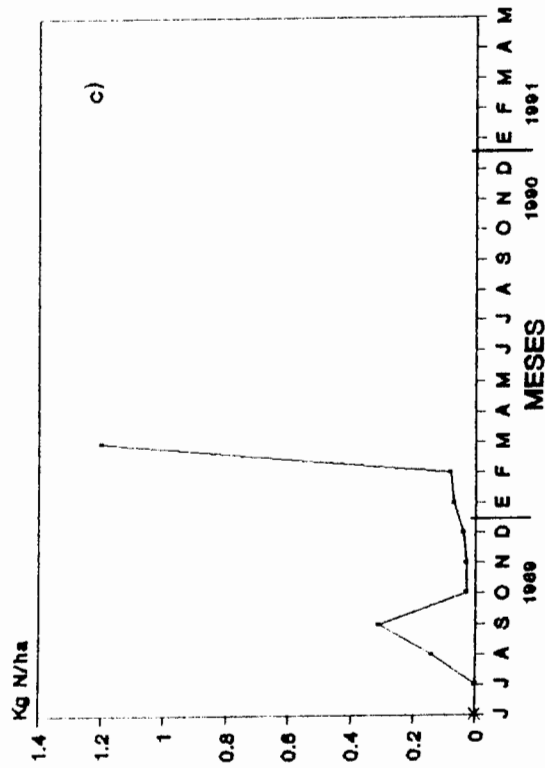
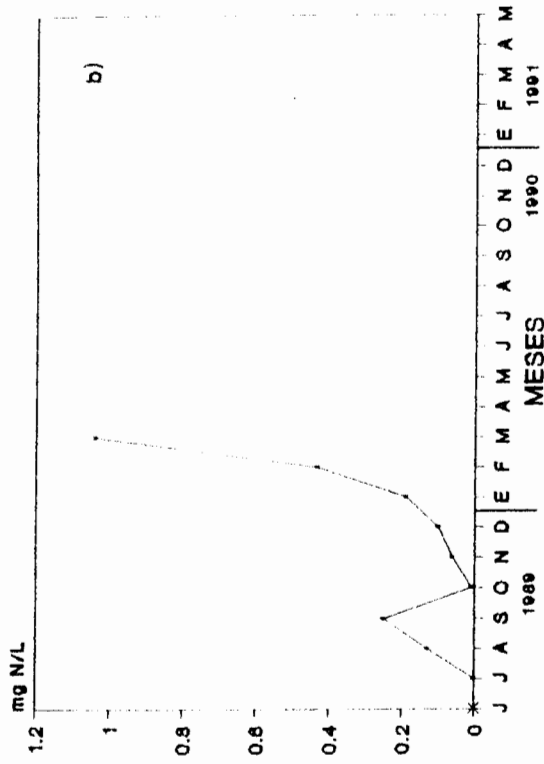
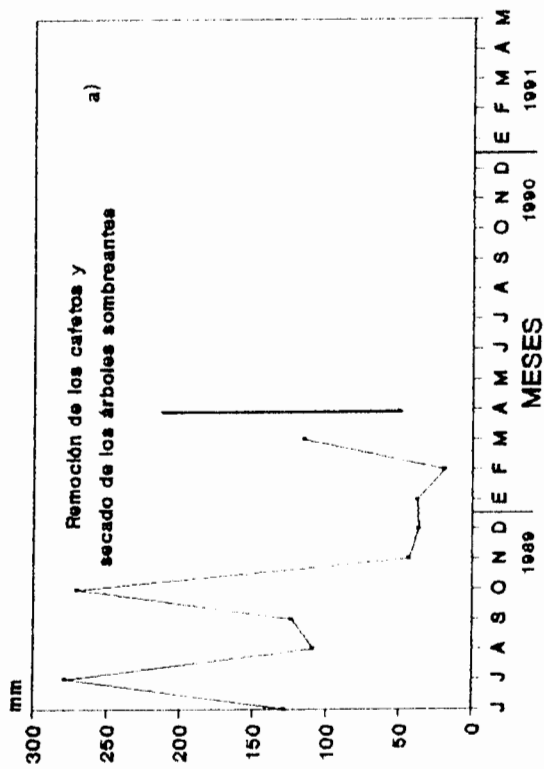


Fig. 14. Evolución de la actividad porosa en el suelo de los árboles sombrantes (a),
 cantidad de agua en el suelo (b), concentración de N (mg N/L) en
 el suelo (c) y la diferencia entre el N en el suelo y el N en el agua (d).

realizados por Infante *et al*(1993) y Tukey (1970) quienes señalan que a medida que las hojas envejecen se hacen más susceptibles a las pérdidas por lavado. Infante *et al* (1993) encontraron una incorporación de nitrato al suelo de 4.3 Kg N /ha, proveniente de la precipitación efectiva en un cultivo de caña de azúcar, mientras que el aporte por precipitación total fué 0.1 Kg N /ha. Adams and Attiwill (1986) también encontraron que el nitrógeno había sido removido desde el dosel por la precipitación en un bosque de eucaliptus. Sin embargo, Seastedt (1985) trabajando en un pastizal encontró que este ión no era lixiviado desde la vegetación, sino absorbido por ésta.

Por otro lado, Blew *et al* (1993) encontraron que la entrada de nitrógeno por precipitación total en un bosque de *Picea glauca* fué de 2.7 Kg ha⁻¹ año⁻¹ y por precipitación efectiva de 6.8 Kg ha⁻¹ año⁻¹ , y asumieron que la precipitación total no fué la única entrada del nitrógeno al dosel y que una porción de este elemento en la precipitación efectiva pudo provenir de deposición seca (polvo depositado sobre las hojas).

En la Fig. 14d, no se observa pluviolado en la época lluviosa, parece haber retención del elemento en el follaje, no forzosamente asimilado por este. House *et al* (1984) e Infante *et al* (1993) han señalado que esta retención podría considerarse como una absorción o fertilización natural, aun cuando estos autores no demuestran que sea incorporado o asimilado por las plantas.

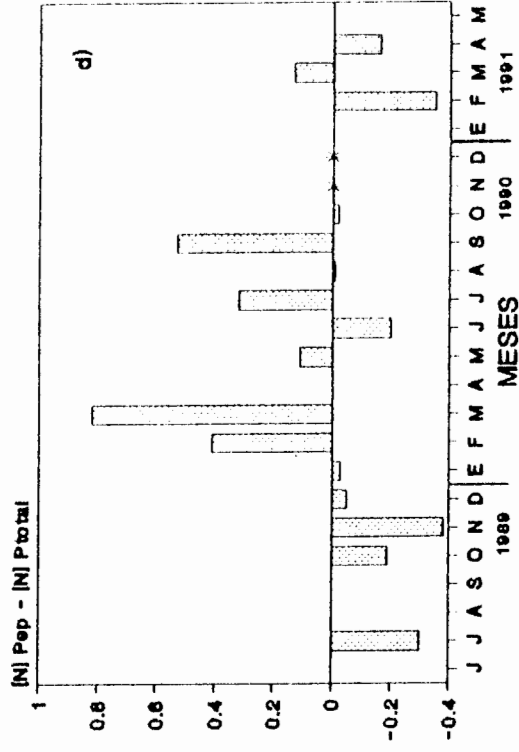
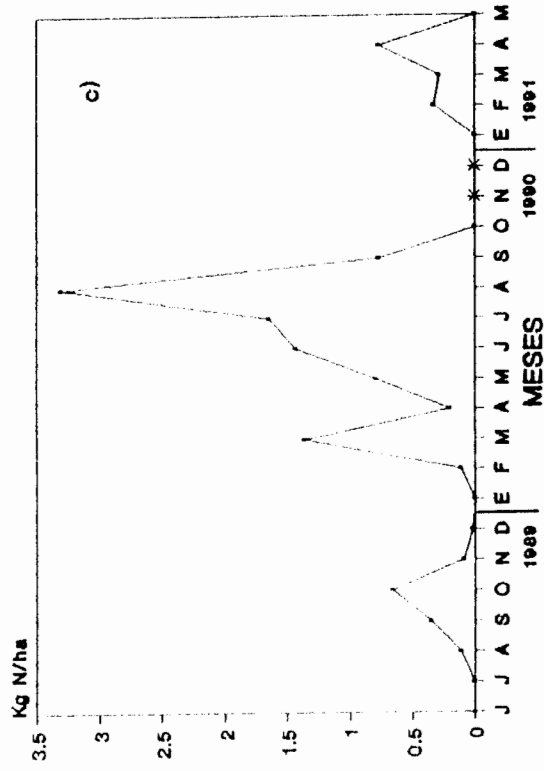
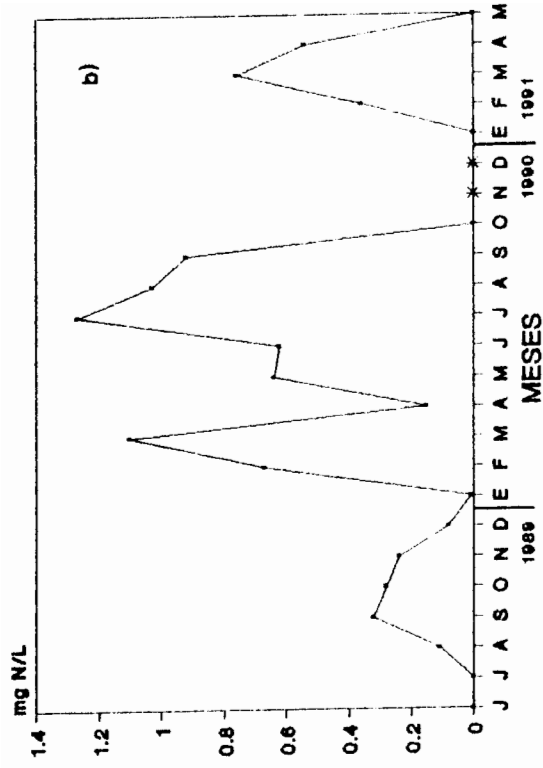
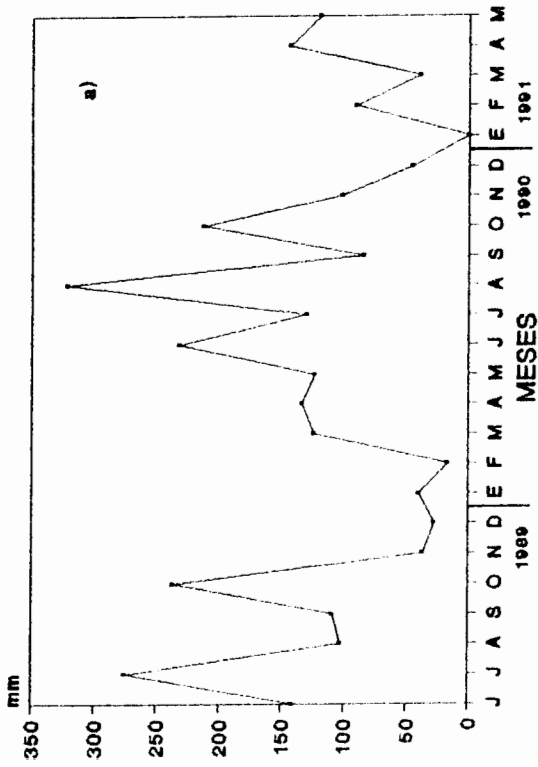
El aporte total de N muestra la misma tendencia (Fig. 14c). Este comportamiento se observa también en el cafetal de sol, como se verá más adelante.

b) Cafetal de Sol en plena producción

En este cafetal hay arbustos de *Coffea arabica* var. *caturra* y var. *bourbon* en su 8° y 9° año de plantación durante el primer y segundo año de estudio, respectivamente.

Durante el primer año de estudio (Junio 1989-Mayo 1990), la Pep fué 81 % de la Pt, manteniendo la misma proporción en la época lluviosa y en la época seca. Para el segundo año (Junio 1990-Mayo 1991), la Pep fué 85 % de la Pt; siendo 84 % en la época lluviosa y 88 % en la época seca (Tabla VI).

En la Fig. 15b podemos observar que la concentración de nitrógeno varía mucho a lo largo de los dos años. Al igual como ocurrió en el cafetal de sombra parcial, las oscilaciones siguen las mismas tendencias; pluviolavado en la época seca y retención de nitrógeno por el follaje en época lluviosa; el lavado que ocurre en la época lluviosa del segundo año no se debe atribuir a los cambios fenológicos del cafeto, asumiendo que esas oscilaciones son reales, solo es posible dar algunas explicaciones en algunos picos. En plena época lluviosa cuando el follaje de los cafetos está en su pico máximo, la concentración de nitrógeno es mayor en el cafetal de sol que en el de sombra parcial y en la época seca no se observan diferencias marcadas (Tabla VII). Se aprecia en la Fig. 15d un aporte de nitrógeno por pluviolavado a finales de la época seca, es decir, durante Febrero y Marzo de 1990 y Marzo de 1991, meses en los cuales las variedades de cafeto tanto de sombra como de sol, presentan flores y hojas nuevas, que tienen una alta concentración de nitrógeno.



Es interesante resaltar que en ambos cafetales, durante el primer año, la concentración de nitrógeno tiene tendencias similares (Fig. 14b y 15b). Durante el siguiente año, se puede observar en la Fig. 15b que la concentración de nitrógeno es mayor en la época lluviosa, e inclusive mayor que en la época lluviosa del año anterior.

En cuanto al aporte total de nitrógeno, puede observarse en la Fig. 15c que los dos años de estudio presentan las mismas tendencias que las observadas en la variación de concentración.

Los montos totales de nitrógeno que llega al suelo son mayores en el cafetal de sol (Tabla VI). Durante 1989-1990 se midió un total de 2.98 Kg N/ha en el cafetal de sombra parcial y 3.69 Kg N/ha en el cafetal de sol correspondientes al 61 % y 76 % respectivamente del N aportado por la Pt. Durante el segundo año en el cafetal de sol se midió 9.48 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ que corresponde al 85 % del aportado por la Pt (Tabla VI).

5.1.3. Escurrimiento por los troncos

Parte del agua de precipitación que es interceptada por la vegetación, termina escurriendo por ramas y troncos.

En las Figuras 16a y 17a, se observa que la cantidad de agua que escurre por los troncos durante el primer año de estudio (Junio 1989-Mayo 1990) es mayor en el cafetal de sombra parcial. Durante la época lluviosa cuando el follaje es más denso y presenta su mayor superficie receptora de agua, eso determina que el escurrimiento por los troncos sea mayor. Durante la época seca, se observa que en ambos cafetales ese

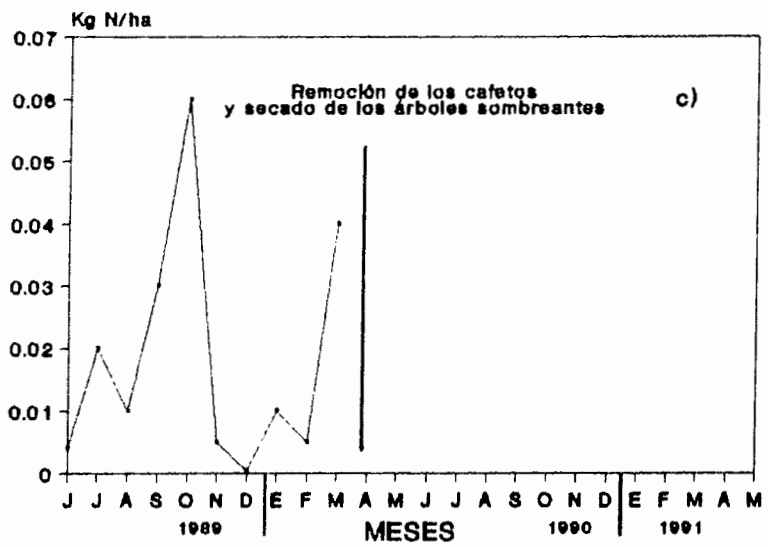
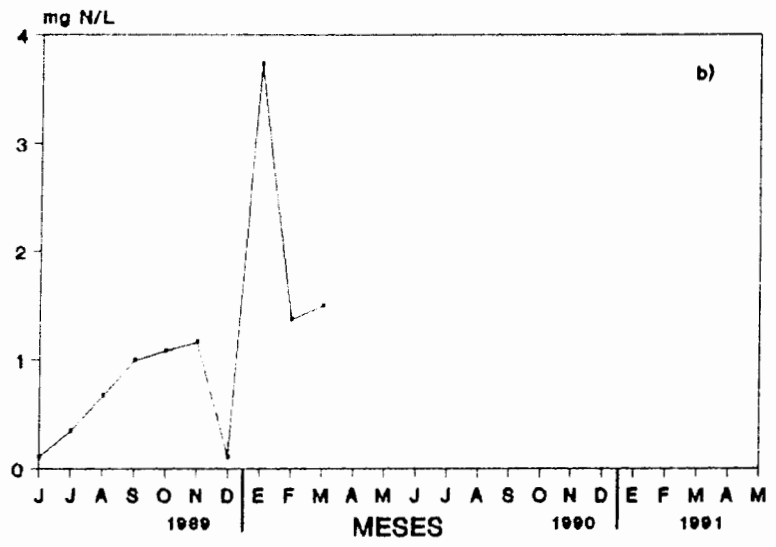
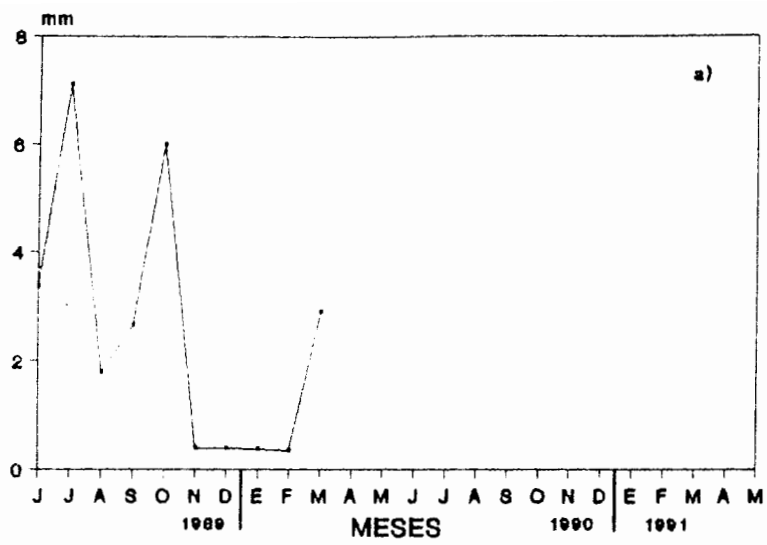


Figura 16. Evolución temporal de un cultivo de café de sombra parcial: a) cantidad de agua precipitada, b) concentración de N (mg N/L), c) contenido total de N (Kg N/ha).

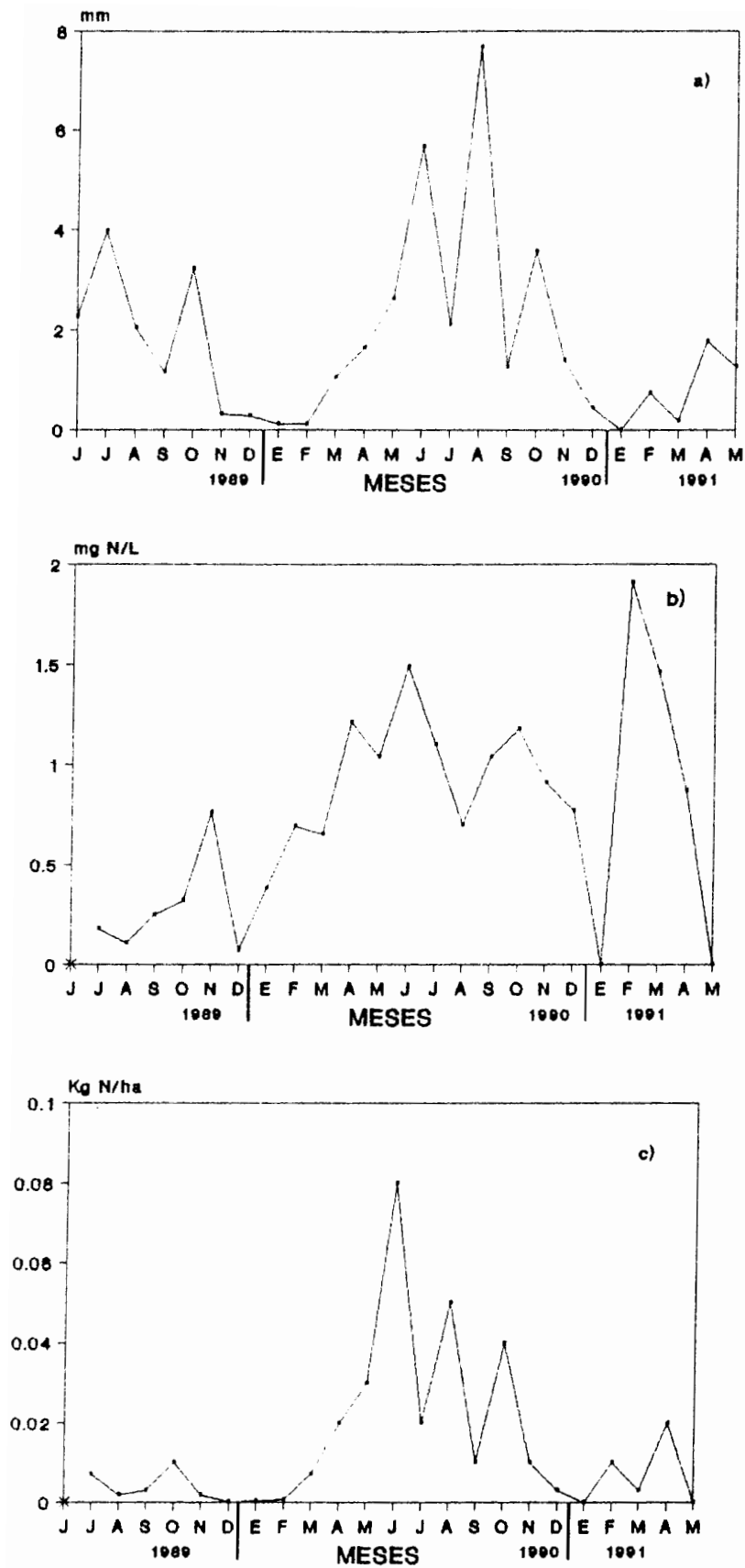


Fig. 17. Evolución ambiental (transmisión) café (S y Q, 1989): a) cantidad de agua en mm, b) concentración de N (mg N/L), c) contenido total de N (kg N/ha) en los meses sus datos.

escurrimiento disminuye. En esta época la pequeña cantidad de agua que logra escurrir, es seguramente absorbida por la corteza seca y/o además puede ser evaporada directamente desde la superficie del follaje.

En las Figuras 16b y 17b se pueden apreciar que las variaciones de concentración de nitrógeno por escurrimiento por los troncos coinciden con las de precipitación efectiva parcial (Figuras 14b y 15b), pero en este último caso son mucho menores, sugiriendo un fuerte enriquecimiento en nitrógeno del agua en su recorrido por la corteza. En el cafetal de sombra parcial tiene 16 años de edad y por ende el agua que drena por la corteza tiene más sitios de donde enriquecerse porque: a) la variedad de los cafetos de sombra retienen mayor cantidad de nitrógeno, b) la antigüedad de la corteza a tenido mayor oportunidad de acumular polvo y c) la vegetación es más diversa, tiene mayor riqueza en epífitas que podría contribuir a retener nitrógeno para su consumo o por el contrario para ser lavado. En cuanto a las oscilaciones, son similares en un cafetal y otro; estas oscilaciones no podemos atribuir las a nada en específico, pero en los dos cafetales se observan las mismas tendencias.

En la Tabla VII, se observa que la concentración de nitrógeno por escurrimiento por los troncos en el cafetal de sombra parcial, es 4.4 veces mayor que la de precipitación efectiva parcial, mientras en el cafetal de sol esta concentración es sólo 1.7 veces mayor que la de precipitación efectiva parcial en los dos años de estudios.

A pesar de que las concentraciones en el agua de escurrimiento por los troncos en ambos cafetales son muy altas, la cantidad total de este elemento que llega al suelo por

esta vía es muy baja (Tabla V) como consecuencia de la poca cantidad de agua (Fig. 16 a y c, 17 a y c). Se puede observar en la Tabla VI, que la cantidad de nitrógeno en la precipitación efectiva parcial durante el primer año en el cafetal de sol es 1.2 veces mayor que en el de sombra mientras que el escurrimiento por los troncos es 2.2 veces mayor en el cafetal de sombra.

5.1.4. Precipitación Efectiva Total

Tomando en cuenta que la precipitación efectiva total (P_{et}) es la cantidad de agua que efectivamente llega al suelo a través de la precipitación efectiva parcial (P_{ep}) y de la que fluye por los troncos (ES_t), nuestros resultados muestran que tanto en volumen de agua como en cantidad de nitrógeno, es mayor en el cafetal de sol que en el de cafetal de sombra parcial (Tabla V).

Se puede observar que el nitrógeno que llega al suelo por la precipitación efectiva total en el cafetal de sombra es de $3.16 \text{ Kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y en el cafetal de sol es de $3.77 \text{ Kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ durante el primer año y de $9.76 \text{ Kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el segundo año (Tabla V). Comparando estos valores con la entrada de nitrógeno por precipitación total (P_t) vemos que, en su paso por la vegetación el agua ha perdido el 35 % de su contenido de nitrógeno en el cafetal de sombra y entre el 22 y 12 % en el cafetal de sol, durante el primer y segundo año, respectivamente (Tabla VII).

TABLA VII: PROMEDIO DE LA CONCENTRACION DE N EN DIFERENTES COMPARTIMENTOS HIDRICOS EN LOS CAFETALES VALORES EN mg N/L

PERIODO	Cafetal de Sombra Parcial					Cafetal de sol de 8 años					
	PT	P.efec. Parcial	Esc. troncos.	Esc. superf.	Dren. Prof.	P.efec. Parcial	Esc. troncos	Esc. superf.	Drenaje Oblicuo	Dren. Prof.	
Lluvioso	\bar{X} S.D. error meses	0.27 [0.19] (0.07) n=7	0.09 [0.12] (0.06) n=4	0.64 [0.41] (0.18) n=5	5.03 [4.51] (1.70) n=7	c	0.21 [0.22] (0.08) n=7	0.52 [0.48] (0.20) n=6	3.75 [3.15] (1.29) n=6	0.95 [1.28] (0.64) n=4	c
Seco	\bar{X} S.D. error meses	0.27 [0.22] (0.098) n=5	0.36 [0.40] (0.18) n=5	1.57 [1.32] (0.59) n=5	2.92 [1.85] (0.83) n=5	c	0.42 [0.46] (0.21) n=5	0.51 [0.29] (0.13) n=5	3.08 [2.11] (0.94) n=5	2.75 [1.98] (0.89) n=5	c
Total 89-90	\bar{X} S.D. error meses	0.27 [0.20] (0.06) n=12	0.25 [0.33] (0.11) n=9	1.11 [1.05] (0.33) n=10	4.15 [3.68] (1.06) n=12	c	0.30 [0.34] (0.098) n=12	0.51 [0.38] (0.11) n=11	3.45 [2.62] (0.79) n=11	1.95 [1.85] (0.62) n=9	c

PERIODO	Cafetal de Sol en su primer año					Cafetal de sol de 9 años					
	PT	P.efec. Parcial	Esc. troncos	Esc. superf.	Drenaje Profundo	P.efec. Parcial	Esc. troncos	Esc. superf.	Drenaje Oblicuo	Drenaje Profundo	
Lluvioso	\bar{X} S.D. error meses	0.57 [0.41] (0.15) n=7	§	§	4.27 [2.45] (0.93) n=7	8.87 [5.57] (2.10) n=7	0.64 [0.48] (0.18) n=7	0.91 [0.47] (0.18) n=7	1.35 [0.73] (0.28) n=7	2.56 [3.38] (1.28) n=7	0.64 [0.54] (0.20) n=7
Seco	\bar{X} S.D. error meses	0.41 [0.29] (0.13) n=5	§	§	3.79 [2.74] (1.23) n=5	10.75 * [10.5] (6.06) n=5	0.37 [0.38] (0.22) n=3	1.01 [0.72] (0.32) n=5	1.85 [1.32] (0.59) n=5	1.95 [2.61] (1.17) n=5	0.40 [0.54] (0.24) n=5
Total 90-91	\bar{X} S.D. error meses	0.50 [0.36] (0.10) n=12	§	§	4.07 [2.46] (0.71) n=12	9.43 * [6.77] (2.14) n=10	0.56 [0.45] (0.14) n=10	0.95 [0.56] (0.16) n=12	1.56 [0.99] (0.29) n=12	2.30 [2.47] (0.86) n=12	0.54 [0.53] (0.15) n=12

§ No se habían instalados los lisímetros

§ Para el cafetal de sol en su 1 año, la intercepción se considera insignificante y la P.efec. parcial se supone igual a la P.T.

\bar{X} Media de los meses correspondientes a cada época

S.D. Desviación standard

error: error standard

* Faltan meses de Noviembre y Diciembre 90.

5.2. Salidas de agua y nitrógeno disuelto

5.2.1. Escorrentía Superficial

El agua que llega al suelo puede tener varios caminos: puede escurrirse superficialmente, puede evaporarse, puede ser interceptada por la hojarasca o puede infiltrarse a niveles más profundos.

En las Figuras 18a y 19a se puede observar que la escorrentía, tiene un ritmo similar en ambos cafetales, siendo mucho mayores las cantidades escurridas en el cafetal de sol. En el cafetal de sombra parcial, el suelo está cubierto de una gruesa capa de hojarasca (Ataroff, 1990; Quintero, 1994) así que, la precipitación efectiva total que llega al suelo es interceptada por ésta, lo que explicaría el menor drenaje de agua superficial en este cafetal.

Ataroff & Monasterio (1994) calcularon valores de retención de agua por la hojarasca que pueden llegar al 20 % de la Pt en el cafetal de sombra y 9 % en el de sol.

Con respecto a las concentraciones de nitrógeno (Figuras 18b y 19b), se observa que hay variabilidad entre meses, pero en ambos cafetales no se observan diferencias entre épocas húmedas y secas. Las oscilaciones en ambos cafetales no están asociadas ni a la época húmeda ni a la época seca, ni a las actividades agrícolas. Se observan algunos picos en ambos cafetales que podríamos asumir que son oscilaciones reales de las muestras.

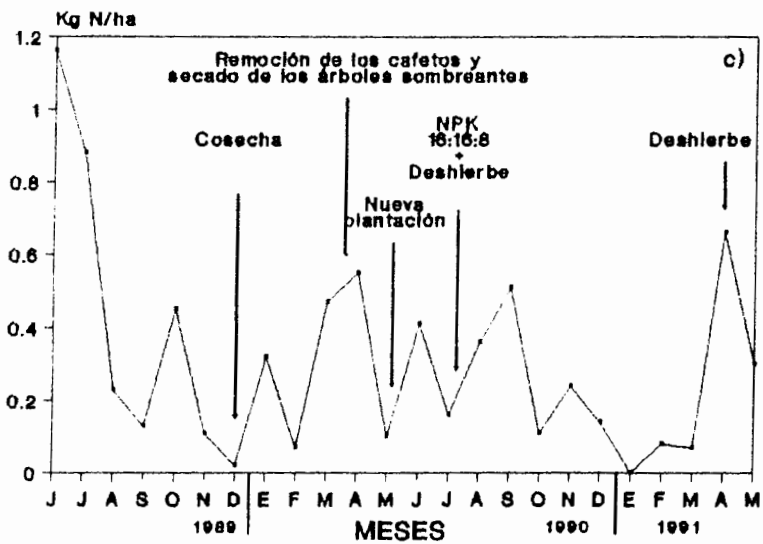
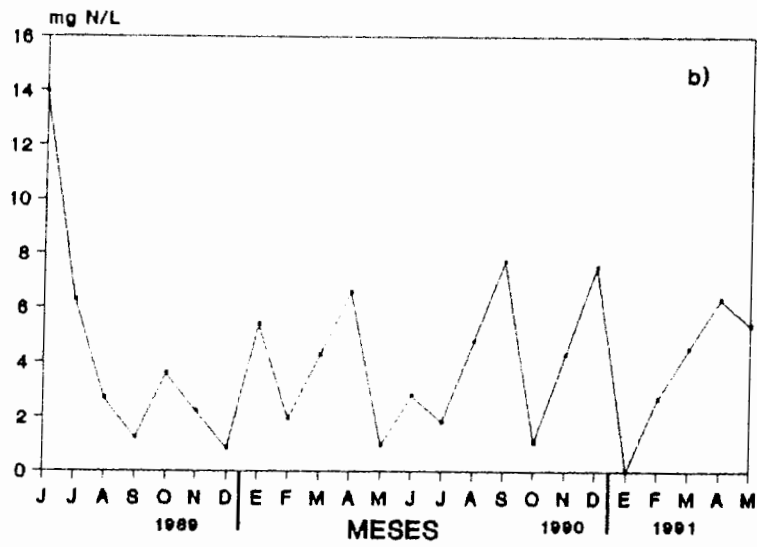
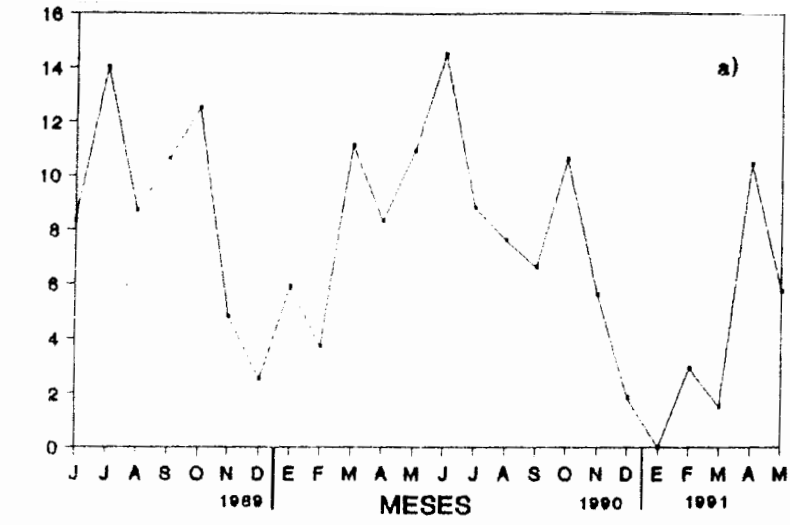


Fig. 1. a) Concentración en volumen de un litro parcial y de sulf en su primer año de plantación y cantidad de agua en mm. b) Concentración de N (mg/L) y concentración total de S (Kg/ha).

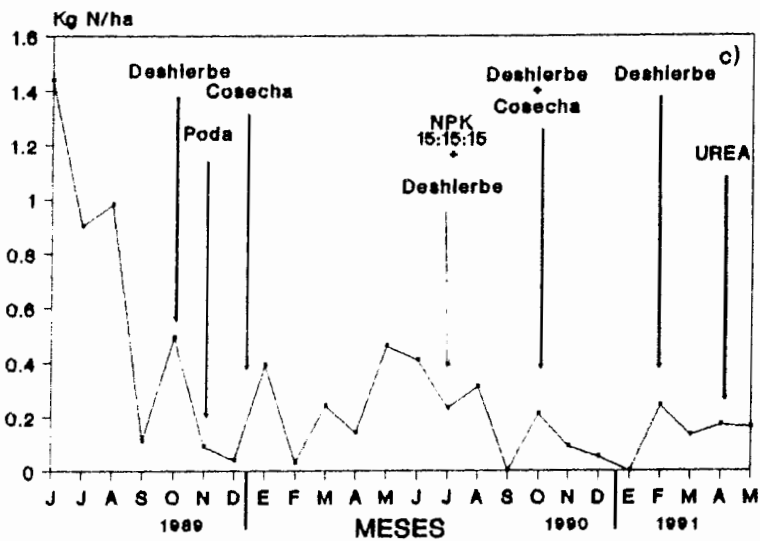
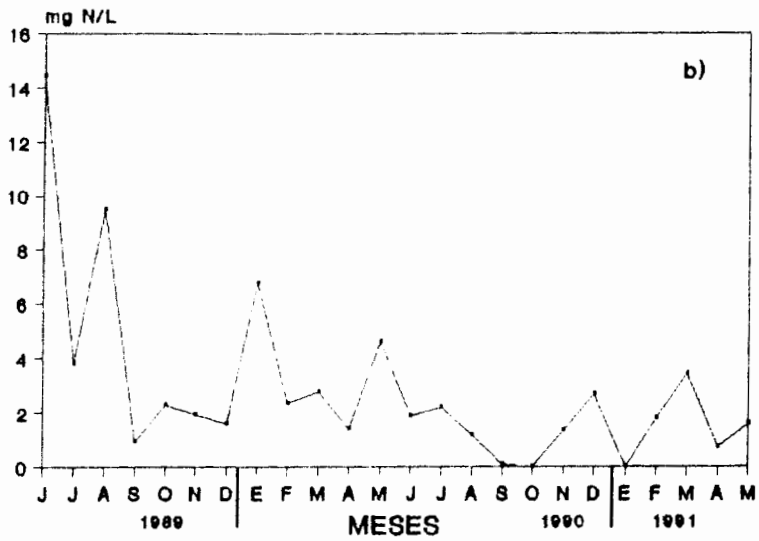
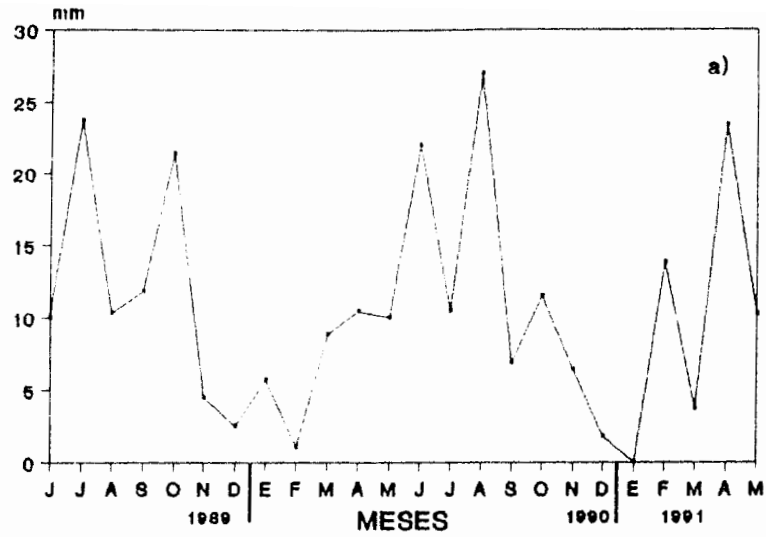


Fig. 1. Evolución mensual de la concentración de NO_3^- (a) y de NH_4^+ (b) en el agua de riego en un cultivo de maíz (100 m^2) con un total de N aplicado de 150 Kg N/ha .

El contenido de nitrógeno en estas aguas se puede ver afectado por las actividades agrícolas en particular por la fertilización. En las Fig. 18 y 19 se indican los momentos que hubo actividades agrícolas: cosecha, poda, deshierbe y fertilización.

En el cafetal de sombra parcial, a partir de la remoción de los cafetos y secado de los árboles sombreantes en Marzo de 1990, comienza a funcionar un nuevo cafetal de sol, con la nueva plantación de cafetos de *var. caturra* a partir de Mayo de 1990. En este nuevo cafetal de sol se hicieron aplicaciones del fertilizante NPK 16:16:8 (se agregaron 200 g/planta de NPK que equivale a 137.6 Kg N/ha) en el mes de Julio, observándose un incremento en la concentración de nitrógeno en Agosto y Septiembre (Figuras 18b y 18c).

En el cafetal de sol (en plena producción) las aplicaciones de NPK 15:15:15 (se agregaron 200 g/planta de NPK que equivale a 93 Kg N/ha) y úrea (se agregaron 112 g/planta, es decir, 162 Kg N/ha) se hicieron en Julio de 1990 y Abril de 1991, respectivamente. Estas aplicaciones, la primera de NPK en Julio produjo un leve incremento en el contenido de nitrógeno en Agosto, pero la aplicación de úrea no muestra ningún incremento (Figuras 19b y 19c).

En relación a las demás actividades agrícolas practicadas en los cafetales, no se observó ninguna relación directa con las concentraciones ni el contenido total de nitrógeno.

En la Tabla V se observa que el nitrógeno en la escorrentía es 1.2 veces mayor en el cafetal de sol en plena producción que en el de sombra parcial, durante el período Junio 1989 - Mayo 1990 pero 1.5 veces menor durante Junio 1990 - Mayo 1991 que en el cafetal de sol en su primer año de implantación.

5.2.2. Drenaje Oblicuo

El drenaje oblicuo corresponde a los movimientos de agua subsuperficiales en los primeros 30 cm de suelo, el cual se apoya sobre un horizonte C desarrollado "in situ" donde los trozos de roca original ocupan todo el volumen. El agua que se infiltra en el suelo se mueve en el sentido vertical, hasta llegar a horizontes más profundos o puede moverse siguiendo la inclinación de algunos horizontes donde hay un cambio de textura.

En la Fig. 20a se observa que el drenaje oblicuo es mucho menor comparado con las salidas por escorrentía superficial y por drenaje vertical.

Con respecto a las concentraciones de nitrógeno (Fig. 20b) se observa un incremento en Octubre y Noviembre de 1989, durante estos meses se realizaron varias prácticas agrícolas, tales como deshierbe en Octubre y poda en Noviembre. Se observa un pico en Febrero, luego de haber realizado una cosecha en Enero. En Abril de 1991 se fertilizó con urea y se observa un ligero incremento en la concentración, no se observó el mismo efecto cuando se fertilizó con NPK 15:15:15. Con respecto a las oscilaciones no podemos señalar nada en particular.

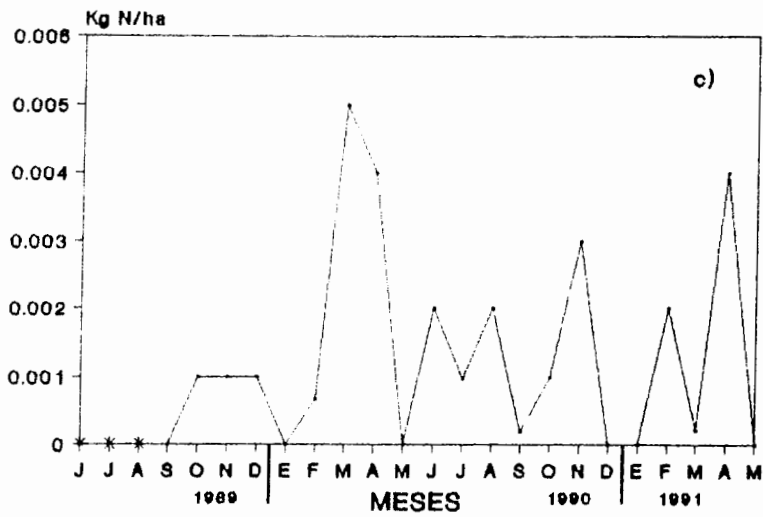
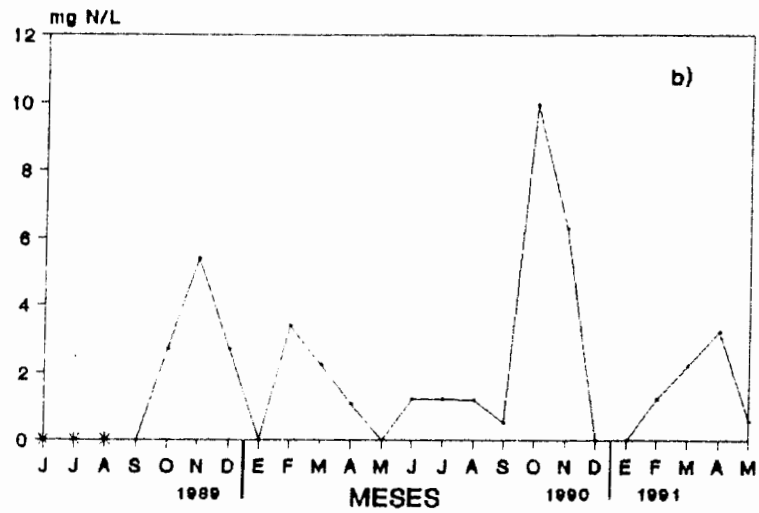
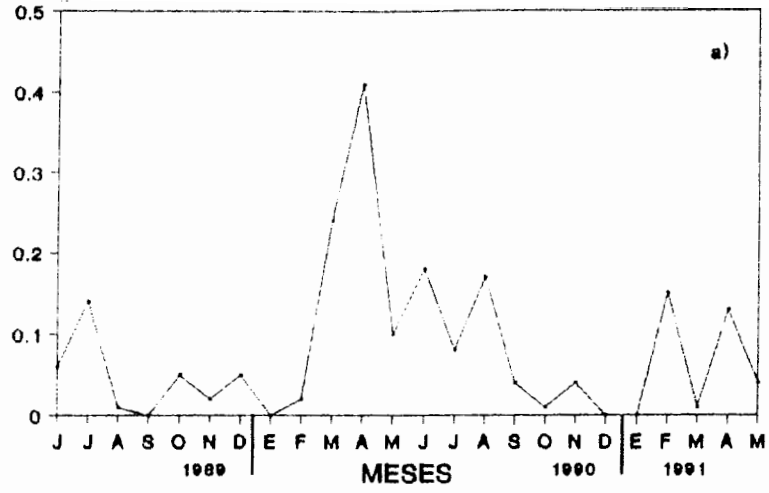


Fig. 3. Evolución mensual de la concentración de nitrógeno (a) y de fósforo (b) en la cantidad de agua que se riega, la concentración de nitrógeno (c) en el agua de riego y la concentración total de N en el cultivo.

En la Tabla V se pueden observar los montos totales de nitrógeno en el cafetal, apreciándose que los montos son iguales en los dos años, $0.02 \text{ Kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

5.2.3. Drenaje Vertical

El agua que se infiltra en el suelo desplazándose en sentido vertical hasta los niveles más profundos, corresponde al drenaje vertical en los primeros 30 cm.

La cantidad de agua drenada y el ritmo que siguen las mismas son similares en los dos cafetales (Figuras 21a y 22a). La cantidad de agua que drenó hasta los niveles más profundos fué mucho mayor que la medida por drenaje oblicuo.

Con respecto al monto total de Nitrógeno, podemos observar en la Tabla V que el drenaje profundo en el cafetal de sol en su primer año de implantación es 15 veces mayor que el del cafetal de sol en plena producción. Esto puede ser durante la fase inicial del cafetal por efecto del intenso movimiento del horizonte superficial, lo que aparentemente incrementa la infiltración.

En este nuevo cafetal de sol, se hicieron aplicaciones del fertilizante NPK 16:16:8 en el mes de Julio observándose un leve incremento tanto en la concentración como en el contenido total de nitrógeno en el mes de Agosto. No hay mucha correspondencia en las oscilaciones, al menos, durante la fase inicial del cafetal de sol en su primer año de plantación y después de los 7 meses de plantado este nuevo cafetal se observa una correspondencia en las oscilaciones, pero no en los montos.

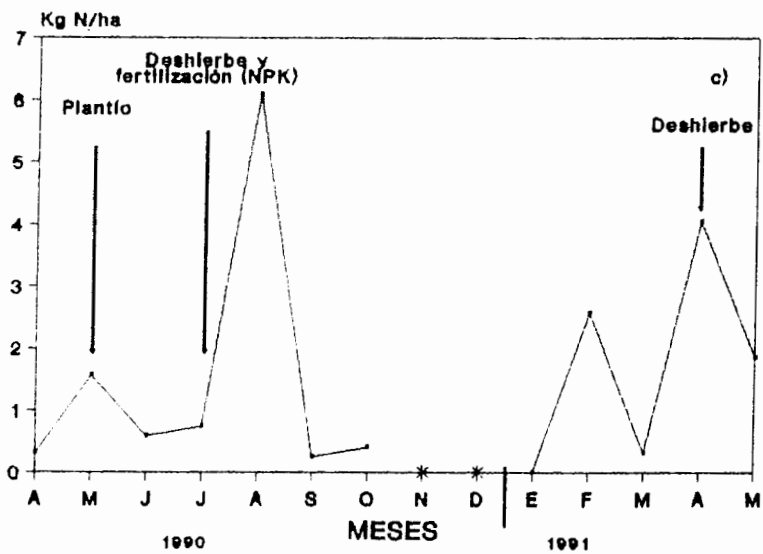
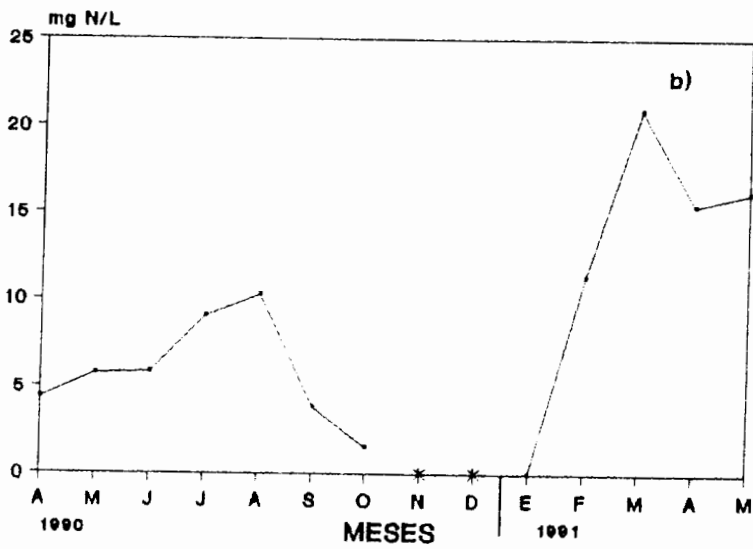
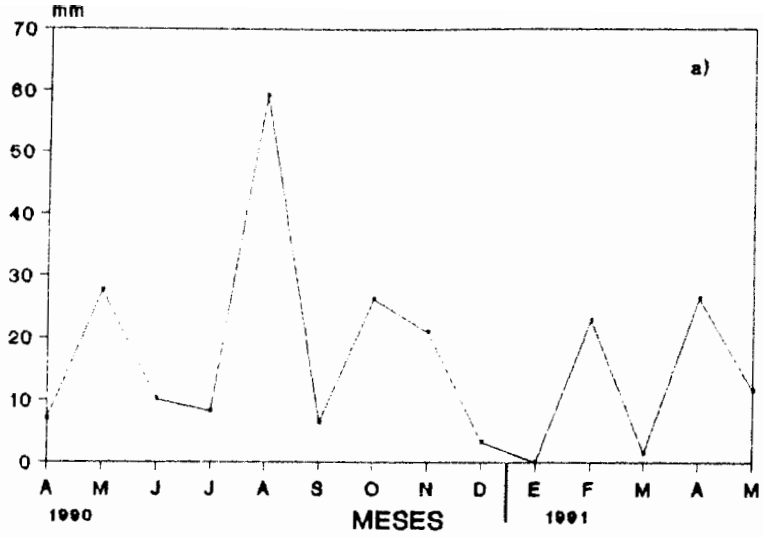


Fig. 11. Evolución de la cantidad de N en el suelo en el primer año de plantación: a) cantidad de agua (mm); b) concentración de N (mg N/L); c) contenido total de N (Kg N/ha). * = meses sin datos.

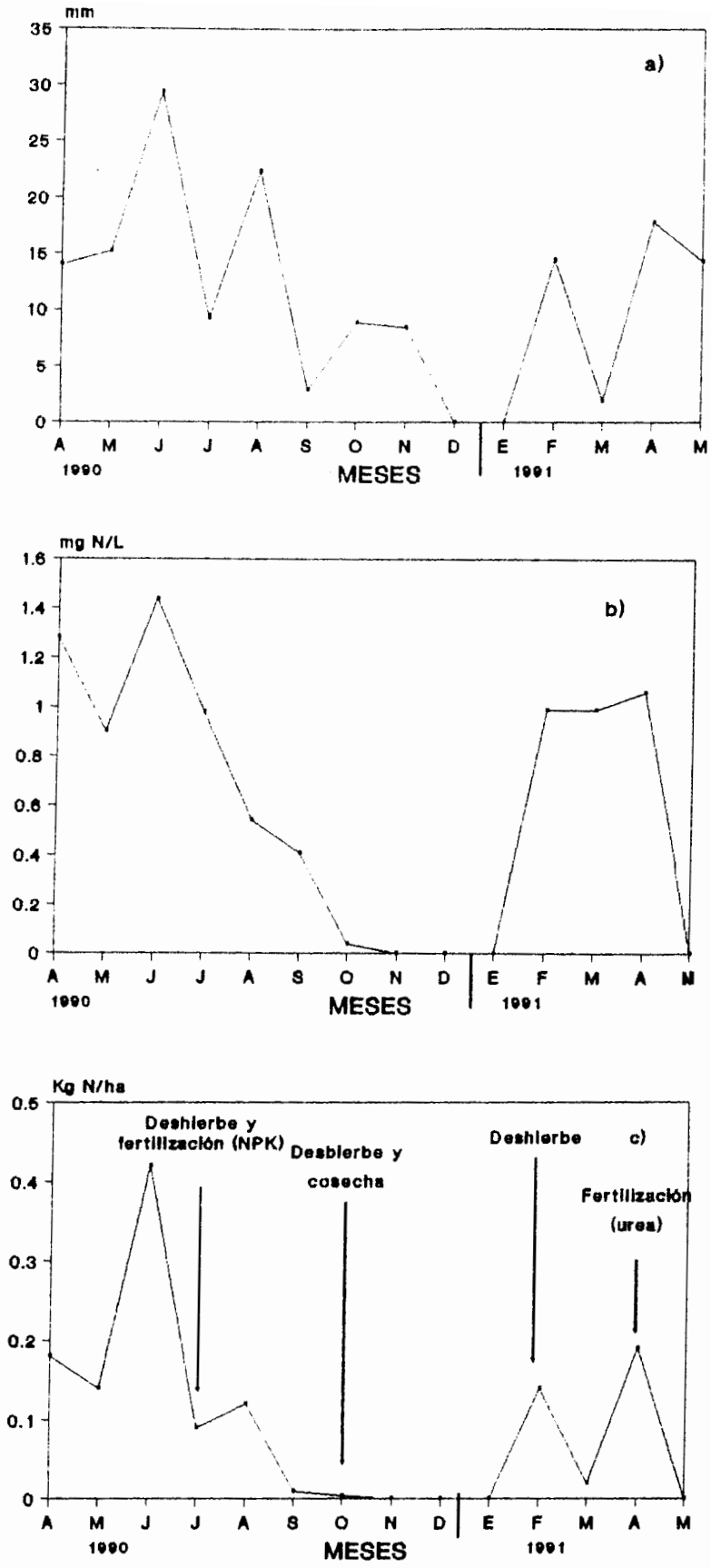


Fig. 2.7. Diferencia vertical en el nivel de agua (a) y en el contenido de agua en el suelo (b) en un campo de cultivo de N (mg N/L) (c) contenido total de N (Kg N/ha).

Con respecto a las demás actividades agrícolas no se observó ninguna relación directa con las concentraciones ni el contenido de nitrógeno en ambos cafetales.

Por este drenaje se observa que el Nitrógeno tampoco se pierde, lo que restaría por decir que las plantas lo absorben rápidamente.

6. CONCLUSIONES

El propósito general al realizar el presente trabajo fue analizar las consecuencias ecológicas en tres tipos de manejo del cultivo del café en laderas. Nos centramos en las consecuencias del nitrógeno en diferentes componentes del balance hídrico.

Los resultados mostraron grandes diferencias en los distintos cafetales y en los dos años de estudio. En la Fig. 23 se muestra un esquema que representa los resultados obtenidos en este trabajo.

A nivel de cultivo, al comparar dos formas de manejo diferentes, un cafetal de sombra parcial y uno de sol, ambos en plena producción, observamos que la cantidad de nitrógeno que llega al suelo por precipitación efectiva es ligeramente mayor en el cafetal de sol, pero por escurrimiento por los troncos es mayor en el cafetal de sombra; comparativamente los montos son casi similares pero con distribuciones diferentes.

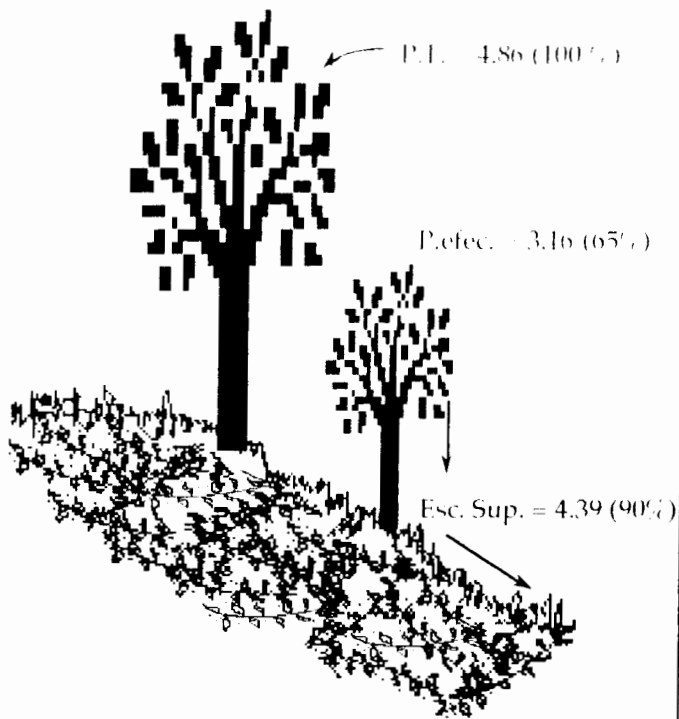
El agua que salió por escorrentía superficial fue mayor en el cafetal de sol y mayor que lo que se incorporó por precipitación total. Sin embargo, comparando la variabilidad interanual ese mismo cafetal para el siguiente año tuvo una entrada de nitrógeno en agua mucho mayor que las salidas.

Comparando el cafetal en distintas etapas para el mismo cafetal de sol, podemos decir que en cuanto a la escorrentía superficial lo que se está drenando en nitrógeno durante la fase inicial del cafetal es ligeramente mayor; pasado el nivel de horizonte de captación por las raíces, la cantidad de nitrógeno en las aguas es mucho mayor que en el cafetal de sol ya estabilizado. Las principales posibilidades de que eso ocurra son : a) suministro de nitrógeno por fertilizantes, b) menor extracción de nitrógeno por parte de la vegetación y c) alteración en los primeros centímetros del suelo que afecta la infiltración tanto en agua drenada como en contenido nutricional. Nos podríamos preguntar cuál de estas posibilidades es la más importante. Ese cafetal no recibió mayor cantidad de nitrógeno por fertilizantes que el otro cafetal en el mismo año. en cuanto a las otras dos posibilidades, no podemos discriminarlas. En todo caso, las pérdidas son mucho mayores en el cafetal de sol en su primer año de plantación.

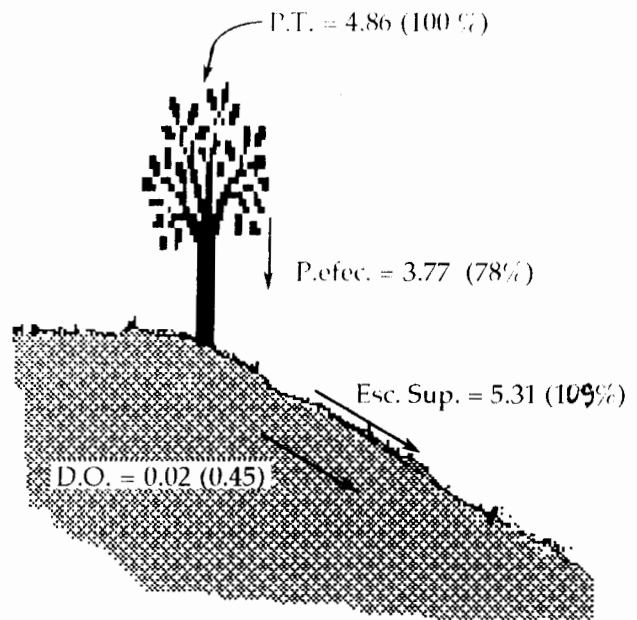
La variabilidad interanual del nitrógeno en las precipitaciones es notable y no es un caso particular de nuestro estudio; otros autores han conseguido estas variaciones, y ellos al igual que nosotros no podemos dar una explicación satisfactoria dado que no hay fuentes importantes que puedan aportar nitrógeno en las cercanías en la zona de estudio.

1989-1990

CAFETAL DE SOMBRA PARCIAL

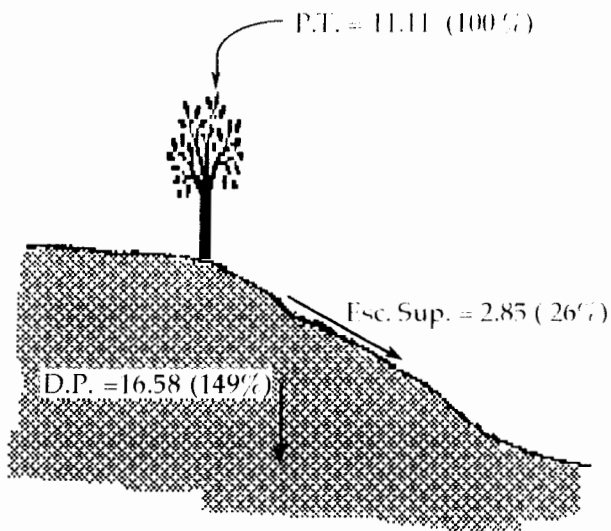


CAFETAL DE SOL (8 años)

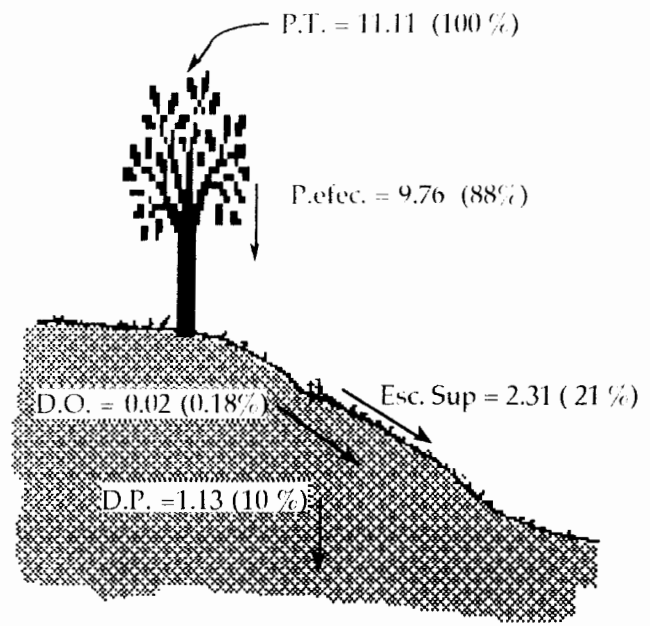


1990-1991

CAFETAL DE SOL
en su primer año de plantación



CAFETAL DE SOL (9 años)



Valores expresados en $\text{Kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$

Fig. 23

Esquema de los cafetales en estudio

ANEXO

MUESTREO	FECHA	MES CORRESPONDIENTE
28	14-06-89	JUNIO 89
29	27-06-89	
30	10-07-89	JULIO 89
31	24-07-89	
32	07-08-89	
33	17-08-89	
34	05-09-89	AGOSTO 89
35	26-09-89	SEPTIEMBRE 89
36	13-10-89	OCTUBRE 89
37	31-10-89	
38	10-11-89	NOVIEMBRE 89
39	28-11-89	
40	15-12-89	DICIEMBRE 89
41	11-01-90	ENERO 90
42	01-02-90	
43	28-02-90	FEBRERO 90
44	19-03-90	MARZO 90
45	05-04-90	
46	04-05-90	ABRIL 90
47	25-05-90	MAYO 90
48	07-06-90	JUNIO 90
49	28-06-90	
50	12-07-90	JULIO 90
51	25-07-90	
52	16-08-90	AGOSTO 90
53	04-09-90	
54	24-09-90	SEPTIEMBRE 90
55	12-10-90	OCTUBRE 90
56	02-11-90	
57	30-11-90	NOVIEMBRE 90
58	12-12-90	DICIEMBRE 90
59	08-01-91	
60	13-02-91	ENERO 91
61	12-03-91	FEBRERO 91
62	09-04-91	MARZO 91
63	29-04-91	ABRIL 91
64	-05-91	MAYO 91

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, D (1994) Metodologías para la determinación del nitrógeno en materiales ecológicos. Postgrado de Ecología Tropical. CIELAT. Universidad de Los Andes. Mérida, 26 p.
- Acevedo, D (1988) Economía hídrica de dos agroecosistemas tropicales: una pastura permanente y un cultivo de maíz. Tesis Licenciatura. Fac. de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 163 p.
- Adams, MA; and PM, Attiwill (1986). Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests southeastern Australia. I. Nutrient cycling and nitrogen turnover. *Plant and Soil*. 92:319-339
- Adriani, A (1984). Labor Venezolano. Venezuela, la crisis y los cambios. Acad. Nacional de Ciencias Económicas, Caracas.
- Alcock, M.R & A.J Morton (1985) Nutrient content of throughfall and stem-flow in woodland recently established on heathland. *Journal of Ecology* 73: 625-632.
- Allen, S.E. A, Carlisle, E.J, White & C.C. Evans (1968). The plant nutrient content of rainwater. *Journal of Ecology* 52: 497-504.
- Allen, S; M, Grimshaw; J, Parkinson & Ch, Quarmby (1974). *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Blackwell. Scientific Publications. Oxford. London.
- Aranguren, J; G, Escalante & R, Herrera (1982). Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. I Coffee. En Robertson, G.P; R, Herrera & T, Rosswall (eds). *Nitrogen cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean*. *Plant and Soil*, 67:247-258.
- Ataroff, M (1990). Dinámica hídrica de nutrientes y erosión en dos formas de manejo del cultivo del café en Los Andes del Edo. Mérida. Tesis Doctoral. CIELAT. Universidad de Los Andes. Mérida.
- Ataroff, M & M, Monasterio (1994) Estudio comparativo de cafetales de sol y sombra en Los Andes venezolanos: balance hídrico y erosión durante un ciclo anual. En: M. Rabey (Ed.): *El Uso de Recursos Naturales en las Montañas: tradición y transformación*. MAB-UNESCO, Montevideo.
- Ataroff, M & M, Monasterio (1994). Balance hídrico y principales flujos de agua en agroecosistemas cafetaleros de Los Andes venezolanos (en preparación).
- Blew, RD; DR, Iredale and D, Parkinson (1993) Throughfall nitrogen in a white spruce forest in southwest Alberta, Canada. *Can. J. For. Res.* 23: 2389-2394
- Campbell, R (1987). *Ecología Microbiana*. Edit. Limusa. 268 p.

- Coste, R (1969). El Café. Editorial Blume. Barcelona.
- Franco, A & D.N. Munns (1982). Plant assimilation and nitrogen cycling. En Robertson, G.P.; R, Herrera & T. Rosswall (eds). Nitrogen cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean. Plant and Soil, 67:1-13.
- García, A & J. Henao (s.f) El cultivo de café en Venezuela. Extensión agrícola N.º 23. Serie C. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas.
- García, A (1988) Cafetales y café. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas, 224 p.
- Haarer, AE (1984). Modern Coffee Production. Leonard Hill. London. 495 p.
- Henao, J (1982) El Café en Venezuela. Ed. Biblioteca de la Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Herrera, R & C.F. Jordan (1981). Nitrogen cycle in a Tropical Amazonian Rain Forest: The Caatinga of low mineral nutrient status. En Clark, F.E. and T. Rosswall. (Eds.) Terrestrial Nitrogen Cycles. Ecological Bulletins. Stockholm. 33: 493-505.
- House, GJ; BR, Stinner, DA, Crossley, Jr. and EP, Odum (1984). Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agro- ecosystems: analysis of pathways and processes. Journal of Applied Ecology. 21: 991-1012.
- Infante, C; D, López; E, Medina y G. Escalante (1993) Distribución de las formas inorgánicas del nitrógeno en los flujos hídricos de un agroecosistema tropical. Ecotrópicos 6 (2): 13-23.
- Jiménez-Avila & A, Gómez-Pompa (1982). Estudios ecológicos en el Agroecosistema cafetalero. Ed. Continental, S.A. México.
- Jordan, C. F (1982) The nutrient balance of an amazonian rain forest. Ecology 63 (3): 647-657.
- Jordan, C; W, Caskey; G, Escalante; R, Herrera; F, Montagnini; R, Toddä and C, Uhl (1982) The nitrogen cycle in a "Terra Firme" rainforest on oxisol in the Amazonan Territory of Venezuela. Plant and Soil 67: 325-332.
- Jordan, C; W, Caskey; G, Escalante; R, Herrera; F, Montagnini; R, Toddä and C, Uhl (1983) Nitrogen dynamics during conversion of primary Amazonian rain forest to slash and burn agriculture. OIKOS 40: 131-139.
- Lewys, W.M. (1981) Precipitation Chemistry and Nutrient loading of precipitation in a Tropical Watershed. Water Resources Research 17:169-181
- Likens, G.E; F.H, Bormann; R.S, Pierce; J.S, Eaton & N.M, Johnson (1977) Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer-Verlag, New York 146 p.
- Maestri, M & R, Santos Barros (1977) Coffee. En: Alvim, P & T. T. Kozlowski (Eds.) Ecophysiology of Tropical crops. Academic Press. New York.

- Müller, L (1961). Un aparato Micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. *Turrialba*, 11(1): 17-25.
- Navidad, E (1987). Estimación del balance de nitrógeno en una plantación de café cultivada a exposición solar. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Prospero, J.M; R. A. Glaccum & R. T. Nees (1981). Atmospheric transport of soil dust from Africa to South America. *Nature* 289: 570-572.
- Quintero, J (1994). Dinámica del nitrógeno en la fitomasa de un cultivo de café de sol, en Canaguá, Edo. Mérida. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida.
- Roskoski, J.P (1982). Report of the work group on coffee y cacao plantations. En Robertson, G.P; R, Herrera & T, Rosswall (eds). Nitrogen cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean. *Plant and Soil*, 67:403-407.
- Sanhueza, E (1982) The role of the atmosphere in nitrogen cycling. *Plant and Soil*. 67: 61-71.
- Sarmiento, G (1984) *Los Ecosistemas y La Ecosfera*. Editorial Blume. Barcelona, España. 268 p.
- Seastedt, TR (1985). Canopy interception of nitrogen in bulk precipitation by annually burned and unburned tallgrass prairie. *Oecologia*. 66:88-92
- Söderlund, R (1981). Dry and wet deposition of nitrogen compounds. En Clark, F.E. and T. Rosswall. (Eds.) *Terrestrial Nitrogen Cycles*. *Ecological Bulletins*. Stockholm. 33: 123-130.
- Swank, W & D, Crossley (1987). *Forest Hidrology and Ecology at Coweeta*.
- Tukey, HB (1970). The leaching of substances from plants. *Annual Review Plant Physiology*. 21:305-322.